This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

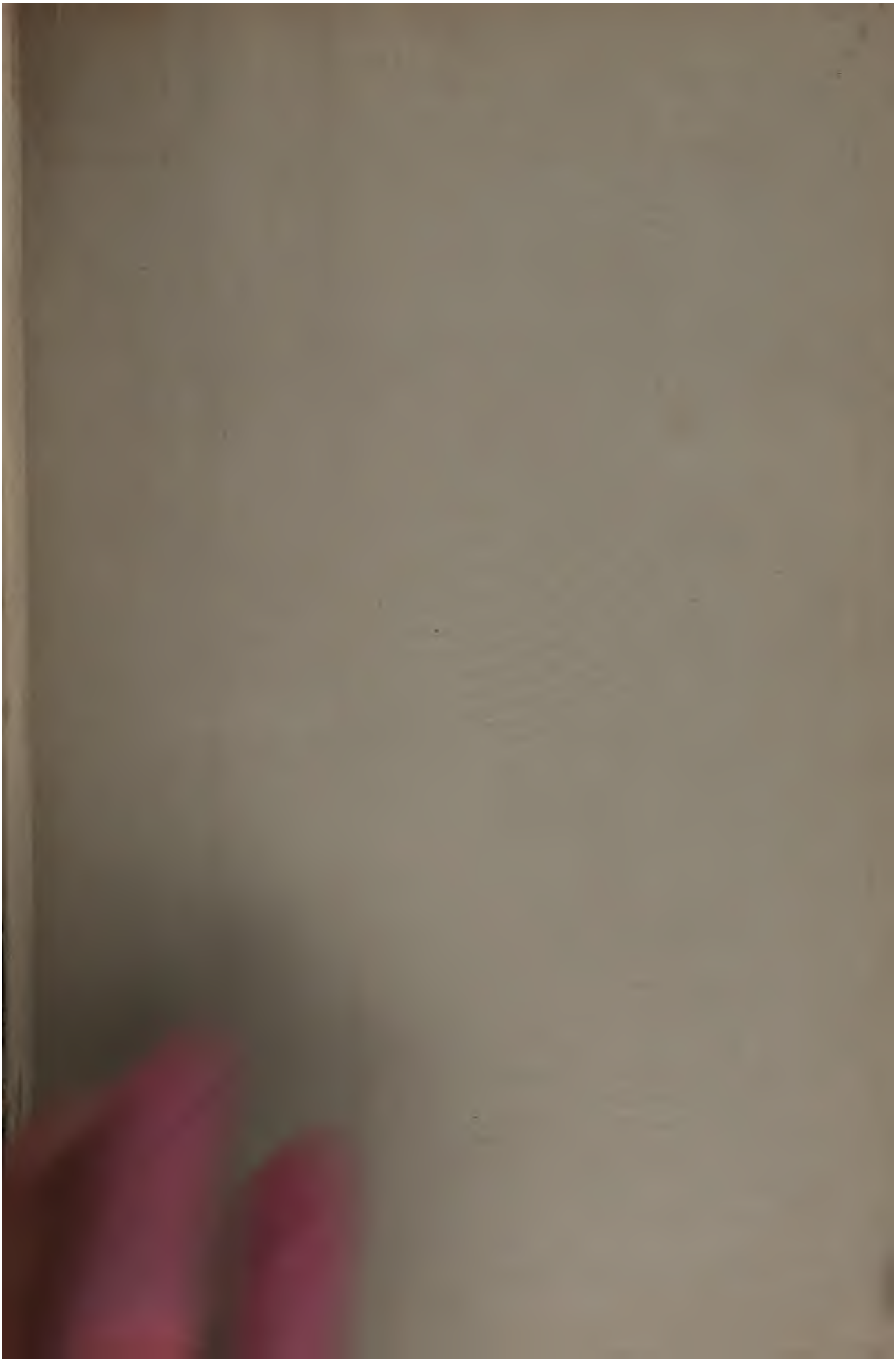
Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

506 .S127 V.15 : NO.1 C.1
Monographie der Sternh
Stanford University Libraries
3 6105 046 399 189

506
S127
Vol 15

MATHEMATICS-STATISTICS
LIBRARY



ABHANDLUNGEN

SECHSUNDZWANZIGSTER BAND.

ABHANDLUNGEN

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

SECHSUNDZWANZIGSTER BAND.

MIT 42 TAFELN UND 26 FIGUREN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1890.

ABHANDLUNGEN

DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN CLASSE

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

FÜNFZEHNTER BAND.

MIT 42 TAFELN UND 26 FIGUREN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1890.

LIBRARY
LELAND STANFORD JUNIOR
UNIVERSITY

137946

INHALT.

B. Peter, Monographie der Sternhaufen G. C. 4460 und G. C. 1440, sowie einer Sterngruppe bei o Piscium. Mit 2 Tafeln und 2 Holzschnitten . . . . . S. 1

W. Ostwald, Über die Affinitätsgrössen organischer Säuren und ihre Beziehungen zur Zusammensetzung und Constitution derselben . - 93

W. Braune und O. Fischer. Die Rotationsmomente der Beugemuskeln am Ellbogengelenk des Menschen. Mit 5 Tafeln und 6 Holzschnitten - 243

W. His, Die Neuroblasten und deren Entstehung im embryonalen Mark. Mit 4 Tafeln . . . . . - 311

W. Pfeffer, Beiträge zur Kenntniss der Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen . . . . . - 373

A. Schenk, Über Medullosa Cotta und Tubicaulis Cotta. Mit 3 Tafeln - 521

W. Braune und O. Fischer, Über den Schwerpunkt des menschlichen Körpers mit Rücksicht auf die Ausrüstung des deutschen Infanteristen. Mit 17 Tafeln und 18 Figuren im Text . . . . . - 559

W. His, Die Formentwickelung des menschlichen Vorderhirns vom Ende des ersten bis zum Beginn des dritten Monats. Mit 1 Tafel . . - 673

J. Gaule, Zahl und Vertheilung der markhaltigen Fasern im Froschrückenmark. Mit 10 Tafeln . . . . . - 737

MONOGRAPHIE

DER

STERNHAUFEN G.C. 4460 UND G.C. 1440,

SOWIE

EINER STERNGRUPPE BEI *o* PISCIUM

VON

BRUNO PETER.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° I.

MIT ZWEI TAFFLN UND ZWEI HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL

1889.

Das Manuscript übergeben am 4. December 1888.
Der Abdruck vollendet den 15. Januar 1889.

MONOGRAPHIE

DER

STERNHAUFEN G.C. 4460 UND G.C. 1440,

SOWIE

EINER STERNGRUPPE BEI o PISCIUM

VON

BRUNO PETER.

Die hier mitgetheilten Beobachtungen sind im Wesentlichen als eine Fortführung der Reihe zu betrachten, welche von Vogel in den »Publikationen der K. Universitäts-Sternwarte zu Leipzig, Heft I« und von Koch in seiner Dissertation »Mikrometrische Vermessung des Sternhaufens Herschel 1712« veröffentlicht worden ist. Es handelte sich dabei vorzugsweise um die Verwendung des zwölffüssigen Aequatoreals der Leipziger Sternwarte zur Ausmessung von Sternhaufen, welche der Leipziger Zone angehören.

Von den nachstehenden Abschnitten enthalten § 1—6 die Untersuchung des Mikrometers; daran schliessen sich in § 7—9 die Messung der Sternhaufen G. C. 4460 und 1440 und einer Gruppe zerstreuter Sterne in der Nähe von *o* Piscium.

§ 1.

Der Mikrometerapparat, mit welchem die nachstehenden Messungen ausgeführt worden sind, ist im Wesentlichen noch der nämliche, welchen Vogel und Koch zu ihren mikrometrischen Ausmessungen benutzten. Einige kleine Reparaturen, welche im Laufe der Zeit sich als nöthig erwiesen hatten, veranlassten mich indessen, das Mikrometer einer neuen Untersuchung zu unterwerfen, welche, wie die Folge zeigen wird, nicht unwesentliche Aenderungen im Zustande einzelner Theile, namentlich der Schraube constatirte.

Die erwähnten Reparaturen sind im Anfang April 1878 von Herrn Hildebrand in Freiberg (in Firma Lincke & Comp.) ausgeführt worden und bestehen in Folgendem:

1) An Stelle des alten Fadensystemes ist ein neues eingezogen worden, für welches sämmtliche Striche neu gerissen wurden. Die neue Anordnung der Fäden ist weiterhin angegeben.

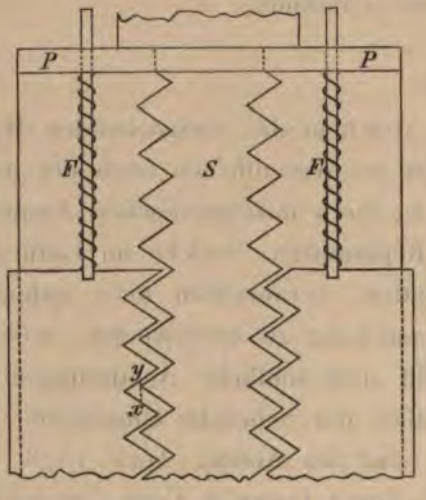
2) Der Declinationsschlitten des Oculares ging sehr lose in seiner Führung und ermöglichte auch ein Ueberhängen des Oculares, so dass die Focalebene des letzteren bei manchen Stellungen des

Fernrohres um einen kleinen Betrag gegen die des Objectives geneigt sein konnte und das Auftreten von Parallaxe ermöglicht wurde. Diesem Uebelstande wurde durch Einsetzen einer Feder in die Führung vollständig abgeholfen.

3) Von den Federn, welche der Bewegung der Mikrometerschraube entgegen wirken, war die eine infolge starker Oxydation gebrochen. Dieselbe wurde durch eine neue ersetzt.

Ferner ist noch zu erwähnen, dass eine Scala für die Einstellung des Ocularkopfes angebracht und eines der vier im Ocularkopfe befindlichen Beleuchtungsprismen durch ein neues ersetzt wurde, da eine seiner Ecken ausgesprungen war. Weitergehende Aenderungen, namentlich eine Beseitigung der weiterhin zu erwähnenden Mängel, sind aus Sparsamkeitsgründen unterblieben, weil sie auf die Anfertigung eines völlig neuen Mikrometers hinausgelaufen wären.

Von diesen Aenderungen ist die unter 3) erwähnte für das Verhalten der Schraube von wesentlicher Bedeutung, wie sofort dargelegt werden soll. Durch die vieljährige, fast unausgesetzte Benutzung des Mikrometers ist die Mutter der Schraube etwas ausgeschliffen worden. Da die Mutter direct in eine Messingplatte in der ganzen Länge des Schraubengewindes als ein einziges Stück eingeschnitten ist und nicht aus zwei gegen einander verstellbaren Hälften besteht, kann diesem Uebelstande nicht durch Engerstellen der beiden Theile der Mutter abgeholfen werden. In obenstehender Figur ist eine schematische Darstellung der Mikrometerschraube und ihrer Mutter gegeben. Wären die Spiralfedern *F* nicht vorhanden, welche der Abwärtsbewegung der Fädenplatte *P* und damit auch der der Schraube entgegenwirken, so würde die letztere infolge der Schwere in der Mutter die tiefste Stellung *x* einnehmen. Durch die Federn *F* wird nun aber die Fädenplatte und damit auch die Schraube gehoben und zwar um so



höher, je stärker die Federn zusammengepresst und gespannt werden. Daraus ist ersichtlich, dass die Wirkungen der Federn sich mit denen des fortschreitenden Ganges der Schraube vermischen müssen und zwar so lange, bis die Schraubenspindel das Maximum ihrer Höhe in der Mutter erreicht hat. Dieses Maximum tritt ein, wenn die Federn sich im Maximum ihrer Spannung befinden oder bei geringerer Abnutzung der Schraube resp. ihrer Mutter schon früher, wenn dieselbe an die obere Wandung y der Mutter angepresst wird. — Da man bei den in den Mikrometern verwendeten Spiralfedern keine besonders feine Ausführung und daher auch nicht vollkommene Gleichheit in allen Theilen wird erwarten können, so werden auch nach Erreichung des Maximums der Spannung noch kleine Variationen eintreten.

Die geschilderte Wirkung der Federn kann man beim Leipziger Mikrometer sehr leicht constatiren, wenn man in der Richtung der Schraubenachse einen gelinden Druck auf die Schraube ausübt. Es bewegt sich dann das Netz der beweglichen Fäden in dieser Richtung gegen die festen Fäden und geht, wenn der Druck aufhört, wieder langsam in seine ursprüngliche Lage zurück.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dass man bei der Benutzung des Mikrometers während des Umdrehens der Schraube jeden Druck auf dieselbe sowohl in der Richtung ihrer Achse als auch seitlich vermeiden muss und sorgfältig darauf zu achten hat, dass alle solchen Einflüsse fern gehalten werden, welche eine — wenn auch nur vorübergehende — Aenderung der Elasticität der Federn herbeiführen könnten. Trotz aller Vorsichtsmassregeln werden die Federn, auf welche auch die Temperatur nicht ohne Einfluss ist, infolge nicht immer gleicher Wirkung doch manchmal zu zufälligen Messungsfehlern Veranlassung geben. Es trat dies beim Leipziger Instrument am deutlichsten hervor bei der Bestimmung des Intervalles der beiden äussersten Fäden (etwa $17'$) in Schraubenrevolutionen, dessen genaue Kenntniss für die Ermittlung des Schraubenwerthes und seiner etwaigen Aenderung durch die Temperatur erforderlich ist. Hierbei zeigte sich, dass die Federn, namentlich bei niederer Temperatur, nicht immer sofort wieder ihre frühere Form annehmen, wenn sie einer verhältnissmässig starken Zusammenpressung unterworfen gewesen waren, sondern hierzu unter Umständen erst einer bestimmten Zeit bedurften.

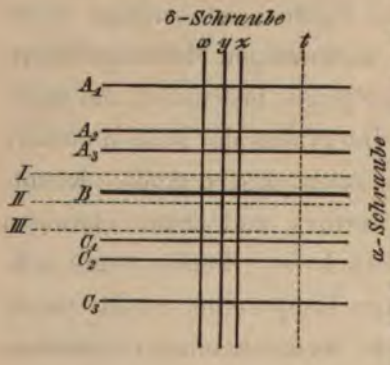
Für die Praxis der Ausmessung eines Sternhaufens ist dieser Umstand übrigens von geringerer Bedeutung, als es scheint. Die ungleiche Wirkung der Federn tritt nur dann störend auf, wenn die Schraube durch eine grosse Strecke bewegt wird, also die Messung einer grossen Declinationsdifferenz erforderlich ist. Für den vorliegenden Zweck ist dies aber fast nie der Fall. Bei einer Fortbewegung der Schraube um 10 bis 15 Windungen kann man stets annehmen, dass unter Anwendung der nöthigen Vorsicht die Federn zu Anfang und Ende dieser Strecke vollkommen gleichmässig wirken.

Es ist a priori anzunehmen, dass beide Federn des Mikrometers nicht absolut gleichartig und gleich stark sind. Daraus ergiebt sich des Weiteren, dass bei losem Gange der Schraube in der Mutter und etwas loser Führung des Schlittens sich diese Verschiedenartigkeit der Federn durch eine Drehung der Fädenplatte bemerkbar machen muss, die um so deutlicher hervortreten wird, je mehr die federnde Kraft infolge Zusammenpressung in Action tritt. In der That zeigt sich diese Erscheinung deutlich ausgeprägt, wenn natürlich auch die Grössen, um welche es sich hier handelt, nur klein bleiben.

Von einer Untersuchung der die Rectascensionsfäden bewegenden Mikrometerschraube ist abgesehen worden, da diese Schraube für eigentliche Messungszwecke nicht in Anwendung gekommen ist.

§ 2.

Das Fadensystem besteht aus 7 festen und 3 beweglichen Declinationsfäden und 3 festen und 1 beweglichen Rectascensionsfaden. Fast immer wurden indessen die als Declinationsfäden bezeichneten Fäden auch zur Bestimmung der α-Differenzen verwendet, nachdem das ganze Fadenkreuz um 90° gedreht worden war. Die Anordnung und Bezeichnung der Fäden wird durch die nebenstehende Figur veranschaulicht, in welcher die punktirten Linien bewegliche, die ausgezogenen feste Fäden darstellen.



Bezüglich der Abstände der δ-Fäden unter einander finden sich ausführlichere Angaben in dem der Bestimmung des Winkelwerthes

einer Schraubenrevolution gewidmeten Abschnitte. Die festen α-Fäden haben die Abstände:

$$xy = 86''.0 , \qquad yz = 86''.2 .$$

Durch Benutzung von Aequatorsternen im Meridian wurde constatirt, dass der Winkel zwischen den Fäden x und B um keine messbare Grösse von 90° abweicht. Durch Vergleichung mit dem Faden t ergab sich des Weiteren z als parallel zu x und t, während y mit allen anderen α-Fäden einen Winkel von 0'.9 bildet.

Bei der Untersuchung des Parallelismus der δ-Fäden stellten sich Schwierigkeiten ein, welche eine derartige Untersuchung überhaupt als unthunlich erscheinen liessen. Es lag die Vermuthung nahe, dass der die beweglichen δ-Fäden tragende Schlitten bei seiner Vorwärtsbewegung durch die Schraube zugleich eine drehende Bewegung erleide, wodurch der Winkel zwischen einem der festen und einem der beweglichen Fäden als Function der Stellung der Schraube erscheinen muss. Um diese Erscheinung näher zu untersuchen, wurde der Faden t um $23^r.5$ seitlich vom Faden x geschraubt und mit den beweglichen Fäden I II III — soweit es die Schraube zuliess — ihre Coincidenz mit den festen Fäden A_3 B C_1 an ihren Kreuzungsstellen mit x und t bestimmt, indem vermittelst der die feste Fädenplatte verschiebenden Stellschrauben die Coincidenz BII nacheinander bei den Trommelablesungen 17^r, 31^r, 45^r, 59^r, 73^r hervorgebracht wurde. Der Unterschied der bei x und t gemessenen Coincidenzen in Verbindung mit dem bekannten Abstand xt giebt dann sofort für die jeweilige Trommelablesung den Winkel zwischen dem betreffenden festen und beweglichen Faden. Es ergaben sich so die folgenden Werthe:

Trommel-stellung	Winkel zwischen A_3 und			Winkel zwischen B und			Winkel zwischen C_1 und		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
17^r			2'.3			2'.2			
31		1'.6	1.9		1'.6	1.6			
45	2'.3	2.0	1.7	2'.3	1.5	1.7		0'.4	0'.9
59	3.4	2.5		3.2	2.2		2'.2	1.2	
73	4.7	3.5		4.1			3.1		

In diesen Zahlen spricht sich auf's Deutlichste eine Drehung des beweglichen Schlittens beim Vorwärtsbewegen aus; man erkennt auch sofort, dass der Betrag der Drehung in seiner Abhängigkeit

von der Stellung der Schraube nicht durch eine lineare Function dargestellt werden kann. Durch Zusammenfassen der hierzu sich eignenden 8 Beobachtungsreihen findet man, dass die beweglichen δ-Fäden sich gegen die festen drehen

von	17^r	bis 31^r		$-0.'5$
»	31	» 45		0.0
»	45	» 59	um	$+0.8$
»	59	» 73		$+1.0$

Da die Drehung des Systemes keine gleichmässig fortschreitende ist, muss auch der Winkel zwischen I und II resp. II und III sich verschieden ergeben, je nachdem man zu seiner Herleitung den einen oder den anderen festen δ-Faden benutzt, ohne dabei aber an der die festen Fäden bewegenden Stellschraube etwas zu ändern. Dies ist in der That auch der Fall, wie eine ad hoc angestellte Messungsreihe ergab. Die besagten Winkel wurden bestimmt durch Messung der Coincidenzen der Fäden I II III mit A_3 und B an ihren Kreuzungsstellen mit x und t. Es ergab sich für den Winkel zwischen

	I und II	II und III

aus den Coincidenzen

bei A_3	$+0.'8$	$-0.'6$
bei B	$+1.3$	$+0.1$

Die gemessenen Coincidenzen fanden hierbei statt bei folgenden Stellungen der Schraube

A_3I 43^r A_3II 29^r A_3I 15^r BI 59^r BII 45^r BIII 31^r ;

es stimmen sonach die hier sich zeigenden Aenderungen der Winkel zwischen den beweglichen Fäden recht wohl mit den oben abgeleiteten Zahlen überein. Hierdurch wird auch der etwaige Einwand hinfällig, dass sich bei der vorhergegangenen Messungsreihe vielleicht die feste Fädenplatte gedreht habe, welche ja durch ihre Stellschraube verschoben werden musste.

Auf Faden II befand sich eine nahezu kreisförmige Verdickung; diese gab ein Mittel ab, um noch weiter die Bahn des Declinationsschlittens bei seiner Vorwärtsbewegung durch die Schraube zu untersuchen. Der Faden t wurde mit Hilfe der α-Schraube auf die erwähnte Verdickung eingestellt — je 10 Einstellungen zu beiden

Seiten derselben — und ergaben sich bei den aufeinander folgenden Stellungen des Fadens II folgende Ablesungen der α-Trommel als Position der Verdickung:

Stellung von II	Vergr. 192	Vergr. 288	Mittel
10^r	$54^r.595$	$54^r.594$	$54^r.594$
20	641	642	641
30	695	689	692
40	740	740	740
50	790	784	787
60	843	835	839
70	54.911	54.907	54.909

Da das beobachtete Object keine scharfen Contouren hatte, besitzen obige Zahlen keine grosse Genauigkeit, abgesehen davon, dass über die periodischen Fehler der α-Schraube nichts bekannt ist; immerhin ersieht man aber aus denselben, dass die Bewegungsrichtung des die Fäden I II III tragenden Schlittens nicht parallel zu den α-Fäden ist, sondern eine um etwa 16′ gegen diese geneigte Bahn verfolgt.

Eine weitere Verfolgung dieses Gegenstandes ist unterblieben, weil sie für die Genauigkeit der Messung ohne Belang ist. Dagegen schien es mir von Interesse, die im vorliegenden Falle so deutlich auftretende Drehung des Mikrometerschlittens ziffernmässig nachzuweisen.

Der Grund für diese Drehung ist wahrscheinlich in einer verschieden starken Wirkung der beiden Spiralfedern und etwas loser Führung des Schlittens zu suchen. Aehnliches wird sich wohl bei jedem Mikrometer herausstellen, das durch langjährigen Gebrauch eine Abnutzung erfahren hat.

Bei der Reduction der Beobachtungen braucht auf die eben geschilderten Fehlerquellen keine Rücksicht genommen zu werden. Sämmtliche Einstellungen auf den festen und auf den beweglichen Faden und die Bestimmungen der Coincidenz beider sind immer an der nämlichen Stelle vorgenommen worden und zwar am Kreuzungspunkte mit dem Faden y. Dieselbe Stelle ist aber auch bei den für die Ermittlung des periodischen und fortschreitenden Ganges der Schraube nöthig gewesenen Coincidenzmessungen benutzt worden, so dass der Einfluss einer stattgehabten Drehung in diesen Fehlern mit zum Ausdruck kommt und sich mit ihnen vermischt.

Die Beschaffenheit der Schraube resp. ihrer Mutter lässt gleich von vorn herein mit grosser Sicherheit vermuthen, dass die Coincidenzen von der Lage der Schraube gegen die Verticale abhängig sind. Der Unterschied bei Schraube oben (S. o.) und Schraube unten (S. u.) kann nur bei den niedrigen Ablesungen eventuell bemerkbar werden, bei denen die Federn noch nicht stark gespannt sind und daher auch die Schraube noch nicht fest an die Wandung der Mutter angepresst ist; bei den höheren Ablesungen vermag der Schlitten vermöge seiner eigenen Schwere keine weitere Verrückung hervorzurufen. Man wird aber selbst bei den niedrigen Ablesungen keinen grossen Unterschied zwischen (S. o.) und (S. u.) erwarten können, da das Gewicht des Schlittens fast ganz durch die Reibung compensirt wird, welche er durch die über und unter ihm befindlichen Platten erfährt. — Merklich muss aber der Unterschied von Schraube rechts (S. r.) und Schraube links (S. l.) werden, da im ersten Falle die Schraube sich an die rechte, im zweiten Falle an die linke Wandung der Mutter anlegen und auch eine kleine Drehung des Schlittens in entgegengesetzten Richtungen hervorgerufen werden wird. — Diesbezügliche Messungen sind 1879 an zwei aufeinander folgenden Tagen bei Vergr. 288 ausgeführt worden. Die Coincidenz wurde von einem Tage zum andern nicht geändert.

1879 August 25.

	(S. o.)	(S. u.)	(S. r.)	(S. l.)
A_1 I	19.698	19.695	19.704	19.685
B II	45.015	45.014	45.020	45.007
C_3 III	70.351	70.346	70.344	70.348

1879 August 26.

	(S. o.)	(S. u.)	(S. r.)	(S. l.)
A_1 I	19.700	19.691	19.710	19.688
B II	45.017	45.014	45.023	45.009
C_3 III	70.352	70.349	70.346	70.349

Diese Messungen constatiren das eben Gesagte auf das Deutlichste, indem fast durchgängig der Coincidenzwerth bei (S. r.) der grösste und der bei (S. l.) der kleinste ist, während die nahezu gleich grossen Werthe von (S. o.) und (S. u.) in die Mitte zwischen diese beiden fallen. Sehr auffallend und nahezu gleich gross sind diese Unterschiede bei den Coincidenzen A_1 I und B II, wo die Federn

noch relativ wenig gespannt sind; bei C_3 III, einer Stelle mit bereits hoher Federspannung, erscheinen diese Unterschiede schon verwischt.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass die Coincidenzen stets in der Lage der Schraube bestimmt wurden, in welcher die Declinationsmessungen vorgenommen worden waren.

§ 3.

Zur Bestimmung des fortschreitenden Ganges der Mikrometerschraube konnten nur die Intervalle zwischen den 3 beweglichen Fäden benutzt werden. Da I von II um nahezu 14^r, I von III um nahezu 28^r absteht, so lässt sich mit Hilfe der beweglichen Fäden der fortschreitende Gang nur von 14^r zu 14^r direct bestimmen. Das zu untersuchende Stück der Schraube umfasst etwas mehr als 70 Windungen, es wird sonach nur an 5 Stellen der Schraube möglich sein, den fortschreitenden Gang derselben direct zu ermitteln. Eine Interpolation der dazwischen liegenden Werthe würde namentlich nach dem unteren Theile der Schraube hin sehr unzuverlässige Resultate liefern und von den wirklich stattfindenden Verhältnissen ein ganz falsches Bild geben. Es musste daher nach einem Mittel gesucht werden, um auch für die zwischen besagten 5 Stellen liegenden Theile der Schraube die Gangcorrectionen möglichst direct zu bestimmen. Es wurde zu diesem Zwecke die Ausmessung der beiden Intervalle II III und I III — von $14^r.0$ als Ausgangspunkt ausgehend — von $3^r.5$ zu $3^r.5$ fortschreitend vorgenommen. Auf diese Weise erhält man 4 von einander unabhängige Systeme von Gleichungen. Von diesen ist indessen nur ein einziges einer directen Auflösung fähig und liefert direct Werthe der Unbekannten. Die übrigen 3 Systeme enthalten eine Unbekannte mehr als Gleichungen vorhanden sind. Zur Auflösung derselben muss bezüglich einer Unbekannten eine Annahme gemacht werden, die Wahl derselben selbst steht frei. Der Werth derselben wird beschafft durch Interpolation aus dem ersten direct aufgelösten Systeme an einer Stelle, wo ein stetiger Verlauf des Ganges bestimmt erwiesen ist. Eine doppelte Auflösung der bleibenden 3 Systeme durch Wechsel in der Wahl der einen durch eine bestimmte Annahme über ihren Betrag eliminirten Unbekannten gewährt eine Controle für die Zuverlässigkeit der schliesslich erlangten Gangcorrectionen.

Zur Eliminirung der periodischen Fehler der Schraube wurde nicht nur von $14^r.0$, $17^r.5$, $21^r.0$ etc. aus gemessen, sondern auch von den um $-0^r.4$, $-0^r.2$, $+0^r.2$, $+0^r.4$ hiervon entfernt liegenden Stellen aus. Für jeden Ausgangspunkt wurden 5 Einstellungen bei Lichtlinie oben und 5 bei Lichtlinie unten ausgeführt; die zur Zeit der Messung stattgehabte Temperatur wurde an einem am Instrumente befestigten Thermometer abgelesen. Diese Messungen wurden im Jahre 1878 in der Zeit vom 15. bis 20. August das erste Mal ausgeführt und sodann vom 28. August bis 3. September in der nämlichen Weise wiederholt, um zufällige Fehler zu eliminiren, die sich im jeweiligen Zustande des Mikrometers, namentlich der Federn zeigen könnten. Diese einzelnen Messungsresultate finden sich in Tabelle I und II angegeben, Tabelle III enthält eine Zusammenstellung der der Rechnung zu Grunde gelegten Mittelwerthe, von denen jeder auf 100 Einstellungen des beweglichen Fadens auf den festen zu beiden Seiten des letzteren beruht. Die erste Columne der Tabellen I und II enthält die Angabe der Ausgangspunkte der Messung, die 5 folgenden Columnen die Resultate der Messung für die um $-0^r.4$, $-0^r.2$, $0^r.0$, $+0^r.2$, $+0^r.4$ vom Ausgangspunkte entfernt liegenden Stellen der Schraube, die vorletzte Columne das von periodischen Fehlern freie Mittel der 5 vorhergehenden Columnen, die letzte Columne die Temperatur in Réaumurgraden.

I. Intervall der Fäden II und III.

1. Messungsreihe:

	13^r	13^r	13^r	13^r	13^r	13^r	+
$14^r.0$	9620	9629	9632	9628	9648	9631	17°0
17.5	9691	9683	9697	9699	9713	9697	18.0
21.0	9724	9731	9741	9739	9753	9738	17.2
24.5	9745	9747	9737	9753	9744	9743	19.7
28.0	9711	9716	9723	9695	9698	9709	20.3
31.5	9639	9639	9644	9626	9636	9637	14.3
35.0	9542	9557	9533	9533	9526	9538	14.4
38.5	9448	9432	9436	9417	9428	9432	14.8
42.0	9370	9375	9372	9376	9414	9381	14.2
45.5	9335	9322	9309	9327	9314	9321	14.4
49.0	9245	9231	9241	9253	9241	9242	14.6
52.5	9167	9173	9170	9163	9175	9170	15.4
56.0	9100	9093	9112	9108	9072	9097	15.0
59.5	9045	9051	9035	9044	9052	9045	16.0
63.0	9000	8994	9034	9016	8972	9003	17.5

2. Messungsreihe:

	13r	13r	13r	13r	13r	13r	+
14r0	9614	9627	9631	9640	9652	9633	16?0
17.5	9688	9680	9680	9680	9673	9682	16.3
21.0	9742	9740	9752	9738	9753	9745	18.9
24.5	9748	9747	9752	9742	9753	9748	14.5
28.0	9709	9710	9714	9712	9706	9710	15.0
31.5	9659	9645	9638	9646	9636	9645	18.3
35.0	9556	9536	9546	9523	9522	9537	16.1
38.5	9450	9450	9433	9438	9442	9443	16.5
42.0	9366	9378	9367	9367	9363	9368	16.6
45.5	9334	9312	9328	9315	9317	9321	18.6
49.0	9238	9232	9249	9215	9235	9234	15.3
52.5	9178	9186	9187	9183	9180	9183	14.6
56.0	9103	9143	9126	9133	9107	9122	15.4
59.5	9059	9074	9036	9065	9052	9057	15.3
63.0	8976	9008	9020	9007	8978	8998	16.1

II. Intervall der Fäden I und III.

1. Messungsreihe:

	27r	27r	27r	27r	27r	27r	+
14r0	9843	9863	9872	9864	9844	9857	17?0
17.5	9826	9829	9854	9846	9855	9842	18.0
21.0	9785	9803	9816	9801	9792	9799	17.2
24.5	9725	9724	9729	9737	9731	9729	19.7
28.0	9636	9645	9635	9611	9601	9626	20.3
31.5	9485	9479	9490	9470	9478	9480	14.3
35.0	9309	9321	9310	9296	9281	9303	14.4
38.5	9153	9127	9138	9126	9127	9134	14.8
42.0	8982	8996	9025	8998	9027	9006	14.2
45.5	8910	8868	8833	8857	8871	8868	14.4
49.0	8727	8746	8769	8783	8726	8750	14.6

2. Messungsreihe:

	27r	27r	27r	27r	27r	27r	+
14r0	9846	9854	9885	9864	9868	9863	16?0
17.5	9876	9874	9836	9869	9842	9859	16.3
21.0	9824	9835	9839	9825	9803	9825	18.9
24.5	9733	9731	9716	9732	9739	9730	14.5
28.0	9632	9638	9634	9631	9605	9628	15.0
31.5	9504	9515	9492	9501	9487	9500	18.3
35.0	9334	9336	9323	9311	9276	9316	16.1
38.5	9181	9162	9145	9154	9168	9162	16.5
42.0	9016	9044	9042	9033	9006	9028	16.6
45.5	8941	8913	8906	8909	8918	8917	18.6
49.0	8731	8742	8764	8752	8706	8739	15.3

III. Mittelwerthe.

Intervall der Fäden II und III:		Intervall der Fäden I und III:	
14:0	13:9632	14:0	27:9860
17.5	9689	17.5	9851
21.0	9742	21.0	9812
24.5	9745	24.5	9730
28.0	9710	28.0	9627
31.5	9641	31.5	9490
35.0	9537	35.0	9310
38.5	9438	38.5	9148
42.0	9374	42.0	9017
45.5	9321	45.5	8892
49.0	9238	49.0	27.8742
52.5	9176		
56.0	9110		
59.5	9051		
63.0	13.9001		

Die Untersuchung der Schraube über die Grenzen 14^r und 77^r hinaus ausdehnen zu wollen hätte keinen Zweck gehabt. Bei 80^r wird die Spannung der Federn eine sehr starke, während bei 8^r die Schraube den Schlitten nicht mehr fortbewegt. Das für Messungszwecke am meisten in Betracht kommende Stück der Schraube liegt zwischen 20^r und 60^r. Es wurden daher für 21:0 und 63:0 die an die Ablesung der Schraube wegen fortschreitenden Ganges anzubringenden Correctionen als Null angenommen. Auf die Temperaturangaben braucht keine weitere Rücksicht genommen zu werden, da die Schwankung in denselben keine bedeutende ist. Setzt man

$$\text{Intervall zwischen II und III} = 14^r + i_1$$
$$\text{» » I » III} = 28^r + i_2$$

und bezeichnet mit $f_{14.0}$, $f_{17.5}$, $f_{21.0}$ ... die an die Trommelablesungen 14:0, 17:5, 21:0 ... anzubringenden Correctionen wegen fortschreitenden Ganges, so ergeben sich aus den Mittelwerthen in Tabelle III die folgenden Bedingungsgleichungen, in welchen als Einheit 0:0001 angenommen ist:

$$\begin{aligned} i_1 &= -368 - f_{14.0} + f_{28.0} \\ &= -311 - f_{17.5} + f_{31.5} \\ &= -258 \qquad + f_{35.0} \\ &= -255 - f_{24.5} + f_{38.5} \\ &= -290 - f_{28.0} + f_{42.0} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} i_2 &= -140 - f_{14.0} + f_{42.0} \\ &= -149 - f_{17.5} + f_{45.5} \\ &= -188 \qquad + f_{49.0} \\ &= -270 - f_{24.5} + f_{52.5} \\ &= -373 - f_{28.0} + f_{56.0} \end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
i_1 &= -359 - f_{31.5} + f_{45.5} & i_2 &= -510 - f_{31.5} + f_{59.5}\\
&= -463 - f_{35.0} + f_{49.0} & &= -690 - f_{35.0}\\
&= -562 - f_{38.5} + f_{52.5} & &= -852 - f_{38.5} + f_{66.5}\\
&= -626 - f_{42.0} + f_{56.0} & &= -983 - f_{42.0} + f_{70.0}\\
&= -679 - f_{45.5} + f_{59.5} & &= -1108 - f_{45.5} + f_{73.5}\\
&= -762 - f_{49.0} & &= -1255 - f_{49.0} + f_{77.0}\\
&= -824 - f_{52.5} + f_{66.5}\\
&= -890 - f_{56.0} + f_{70.0}\\
&= -949 - f_{59.5} + f_{73.5}\\
&= -999 + f_{77.0}
\end{aligned}
$$

Von diesen 26 Gleichungen gestatten nur die folgenden 7 eine directe Auflösung:

$$
\begin{aligned}
i_1 &= -258 + f_{35.0} & i_2 &= -188 + f_{49.0}\\
&= -463 + f_{49.0} - f_{35.0} & &= -690 \quad - f_{35.0}\\
&= -762 \quad - f_{49.0} & &= -1255 + f_{77.0} - f_{49.0}\\
&= -999 + f_{77.0}
\end{aligned}
$$

Dieselben liefern nach der Methode der kleinsten Quadrate behandelt folgende 5 Normalgleichungen:

$$
\begin{aligned}
+3f_{35.0} - f_{49.0} \qquad\qquad + i_2 + 895 &= 0\\
- f_{35.0} + 4f_{49.0} - f_{77.0} \qquad + 1366 &= 0\\
- f_{49.0} + 2f_{77.0} - i_1 - i_2 - 2254 &= 0\\
- f_{77.0} + 4i_1 \qquad + 2482 &= 0\\
+ f_{35.0} \qquad - f_{77.0} \qquad + 3i_2 + 2133 &= 0
\end{aligned}
$$

Die Auflösung derselben giebt nachstehende Werthe:

$$
\begin{aligned}
i_1 &= -491.8 & f_{35.0} &= -234.4\\
i_2 &= -461.3 & f_{49.0} &= -271.4\\
& & f_{77.0} &= +514.7
\end{aligned}
$$

Ausserdem hat man noch

$$
\begin{aligned}
f_{21.0} &= 0\\
f_{63.0} &= 0\ .
\end{aligned}
$$

Setzt man diese Werthe in die ursprünglichen Gleichungen ein, so bleiben folgende Fehler im Sinne (R — B) übrig:

$$+0.6 \quad +8.2 \quad -1.2 \quad -7.5 \quad -1.9 \quad -5.7 \quad +7.6\ .$$

Die Darstellung ist sonach befriedigend.

Die noch nicht zur Verwendung gekommenen 19 Gleichungen zerfallen in 3 Gruppen von der Form:

$$
\begin{aligned}
x - y + i_1 - a &= 0 & x - z + i_2 - e &= 0\\
y - z + i_1 - b &= 0 & y - v + i_2 - f &= 0\\
z - v + i_1 - c &= 0 & z - w + i_2 - g &= 0\\
v - w + i_1 - d &= 0
\end{aligned}
$$

und gestatten daher keine strenge Auflösung.

Zunächst wurden zur Ermittelung von i_1 und i_2 in den 3 Gleichungen

$$i_2 - 2i_1 + a + b - e = 0$$
$$i_2 - 2i_1 + b + c - f = 0$$
$$i_2 - 2i_1 + c + d - g = 0$$

abwechselnd die bereits ermittelten und jedenfalls schon sehr genäherten Werthe

$$i_1 = -491.8\,, \qquad i_2 = -461.3$$

als Bekannte eingesetzt und daraus i_2 und i_1 berechnet. Den so erhaltenen Werthen kann in Verbindung mit den schon bekannten natürlich nur das Gewicht $\frac{1}{2}$ bezüglich $\frac{1}{3}$ gegeben werden. Mit den neuen Werthen von i_1 und i_2 wäre dann eventuell die Rechnung nochmals zu wiederholen.

Die 3 Gruppen von Gleichungen geben auf diese Weise behandelt folgende Resultate:

$i_1 = -496.3$	$i_1 = -492.1$	$i_1 = -500.9$
$i_2 = -453.3$	$i_2 = -460.6$	$i_2 = -443.1$,

woraus sich in Verbindung mit den direct berechneten Werthen als definitives Resultat ergiebt:

$$i_1 = -494\,, \qquad i_2 = -457\,.$$

Eine Wiederholung der Rechnung mit diesen neuen Werthen vermag keine bessere Uebereinstimmung zu erzielen.

Setzt man die für i_1 und i_2 erhaltenen Werthe in die 19 übrig gebliebenen Bedingungsgleichungen ein, so erhält man 3 Gruppen, von denen jede eine Unbekannte mehr als Gleichungen enthält. Zur Eruirung der Werthe der Unbekannten müssen wir daher für jede der 3 Gruppen eine der unbekannten Schraubencorrectionen als bekannt voraussetzen. Ein Ueberblick der Differenzen in Tabelle III zeigt, dass nach dem oberen Ende der Schraube hin die Ausgleichungen nahezu regelmässig fortschreiten. Es muss daher als der beste Weg erscheinen, für die 3 fraglichen Werthe $f_{66.5}$, $f_{70.0}$, $f_{73.5}$ oder auch $f_{52.5}$, $f_{56.0}$, $f_{59.5}$ anzunehmen und diese durch Interpolation aus den direct gefundenen Schraubencorrectionen herzuleiten. Bei der Interpolation empfiehlt es sich, nur die 3 Werthe $f_{49.0}$, $f_{63.0}$, $f_{77.0}$ zu benutzen, da bei Berücksichtigung der weiteren Werthe eine Regelmässigkeit der Schraube auf ihrer ganzen Länge vorausgesetzt

werden würde, welche sie thatsächlich nicht besitzt. Die fragliche Interpolation ergiebt die Werthe

$$f_{66.5} = + 105.9 \quad f_{70.0} = + 227.0 \quad f_{73.5} = + 363.2$$
$$f_{52.5} = - 226.4 \quad f_{56.0} = - 166.1 \quad f_{59.5} = - 90.7$$

In die 19 Bedingungsgleichungen wurden zunächst die Werthe der ersten Horizontalreihe eingesetzt und die Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate aufgelöst. Eine zweite Auflösung wurde hierauf unter Zugrundelegung der Werthe der zweiten Horizontalreihe durchgeführt. Es ergaben sich folgende Resultate:

			Mittel
$f_{14.0}$	+ 26	+ 31	+ 28
$f_{17.5}$	+ 28	+ 33	+ 30
$f_{24.5}$	− 43	− 45	− 44
$f_{28.0}$	− 93	− 90	− 91
$f_{31.5}$	− 151	− 146	− 148
$f_{38.5}$	− 288	− 285	− 286
$f_{42.0}$	− 297	− 293	− 295
$f_{45.5}$	− 284	− 279	− 281
$f_{52.5}$	− 225	− 226	− 225
$f_{56.0}$	− 171	− 166	− 168
$f_{59.5}$	− 96	− 91	− 93
$f_{66.5}$	+ 106	+ 104	+ 105
$f_{70.0}$	+ 227	+ 232	+ 229
$f_{73.5}$	+ 363	+ 368	+ 365

Da beide Werthesysteme als gleichberechtigt anzusehen sind, habe ich als definitive Werthe die in der vierten Columne beigefügten Mittel angenommen. Setzt man diese und die für i_1, i_2, $f_{21.0}$, $f_{35.0}$, $f_{49.0}$, $f_{63.0}$, $f_{77.0}$ gefundenen Werthe in die ursprünglichen 26 Bedingungsgleichungen ein, so bleiben die nachstehenden Fehler übrig:

+ 6	+ 1	− 6	+ 2	− 4	+ 2	− 4
+ 4	+ 2	+ 3	+ 4	− 2	+ 1	− 12
+ 2	− 6	+ 3	+ 10	+ 6	− 4	
− 3	− 7	0	− 6	+ 7	− 2	

Aus den so gefundenen 19 Werthen wurden schliesslich durch ein graphisches Verfahren über die ganze Länge der Schraube hinweg die Gangcorrectionen von $0^r.5$ zu $0^r.5$ hergeleitet. Die nachfolgende Tabelle enthält mit dem Argumente »Ablesung der Schraube«

die wegen fortschreitenden Ganges an die Ablesungen der Schraube anzubringenden Correctionen in 0.0001:

14.0	+ 28	35.0	− 234	56.0	− 168
14.5	31	35.5	244	56.5	159
15.0	33	36.0	254	57.0	148
15.5	34	36.5	262	57.5	138
16.0	34	37.0	270	58.0	128
16.5	33	37.5	276	58.5	117
17.0	32	38.0	282	59.0	106
17.5	30	38.5	286	59.5	93
18.0	27	39.0	289	60.0	82
18.5	24	39.5	292	60.5	67
19.0	20	40.0	295	61.0	55
19.5	16	40.5	296	61.5	42
20.0	11	41.0	297	62.0	28
20.5	+ 6	41.5	296	62.5	− 14
21.0	± 0	42.0	295	63.0	± 0
21.5	− 6	42.5	292	63.5	+ 14
22.0	12	43.0	289	64.0	29
22.5	18	43.5	286	64.5	44
23.0	25	44.0	284	65.0	59
23.5	31	44.5	282	65.5	75
24.0	37	45.0	281	66.0	89
24.5	44	45.5	281	66.5	105
25.0	51	46.0	282	67.0	122
25.5	58	46.5	283	67.5	140
26.0	64	47.0	283	68.0	157
26.5	72	47.5	282	68.5	175
27.0	78	48.0	279	69.0	193
27.5	85	48.5	275	69.5	211
28.0	91	49.0	271	70.0	229
28.5	97	49.5	265	70.5	248
29.0	103	50.0	259	71.0	267
29.5	109	50.5	253	71.5	286
30.0	116	51.0	246	72.0	306
30.5	126	51.5	239	72.5	325
31.0	137	52.0	233	73.0	345
31.5	148	52.5	225	73.5	365
32.0	161	53.0	218	74.0	386
32.5	174	53.5	211	74.5	406
33.0	189	54.0	203	75.0	428
33.5	200	54.5	195	75.5	449
34.0	212	55.0	187	76.0	471
34.5	− 223	55.5	− 179	76.5	493
				77.0	+ 515

Eine unabhängige Controle für die Genauigkeit dieser Correctionen gewähren im Juli 1879 ausgeführte Messungen des Intervalles zwischen I und II, die von den Ausgangspunkten 20^r, 30^r, 40^r, 50^r, 60^r aus vorgenommen sind und die nämliche Genauigkeit besitzen wie die in Tabelle II gegebenen Werthe. Bringt man an dieselben die Correctionen nach vorstehender Tabelle an, so erhält man als Betrag des Intervalles zwischen I und II:

$$14^r0054\,,\quad 14^r0036\,,\quad 14^r0050\,,\quad 14^r0060\,,\quad 14^r0042\,,$$

während wir als genauen Werth gefunden haben 14^r0037.

§ 4.

Aus den Messungen, welche behufs Ermittlung des fortschreitenden Ganges der Schraube angestellt wurden, lässt sich ersehen, dass periodische Ungleichheiten der Schraube von *erheblichem* Betrage jedenfalls nicht vorhanden sind, sondern nur eine Grösse erreichen können, die noch weit unterhalb der Unsicherheit der Einstellung liegt. Zur genauen Ermittlung der periodischen Fehler bietet sich innerhalb des Mikrometers selbst nur das Intervall dar, welches zwischen den Coincidenzen BII und A_3I liegt und etwa 2^r4 beträgt. Die Ausmessung dieses Intervalles, welche für die Mitte der Schraube vorgenommen wurde, ergiebt die nachfolgende Reihe von Werthen, von denen jeder auf 10 Einstellungen bei Lichtlinie oben und Lichtlinie unten beruht:

u	$u'-u$	u	$u'-u$
42^r6	2^r3797	43^r6	2^r3783
42.7	3786	43.7	3784
42.8	3811	43.8	3772
42.9	3786	43.9	3770
43.0	3771	44.0	3743
43.1	3728	44.1	3735
43.2	3748	44.2	3713
43.3	3719	44.3	3720
43.4	3751	44.4	3730
43.5	3755	44.5	3757
43.6	2.3783	44.6	2.3772

Bringt man hieran noch die vom fortschreitenden Gange herrührenden Correctionen an und zieht den Anfangs- und Endwerth zum Mittel zusammen, so ergiebt sich nachfolgende Zusammenstellung:

u	$u'-u$	u	$u'-u$
42r6	2r3797	43r6	2r3778
42.7	3796	43.7	3787
42.8	3820	43.8	3775
42.9	3795	43.9	3772
43.0	3779	44.0	3745
43.1	3735	44.1	3735
43.2	3755	44.2	3713
43.3	3724	44.3	3719
43.4	3756	44.4	3729
43.5	2.3759	44.5	2.3755

Ein zweites Intervall von nahe 0r25 wurde vermittelst des von Professor WINNECKE (A. N. No. 2179) angegebenen Hilfsapparates hergestellt und die Grösse desselben durch Zwischenstellen der Bilder gemessen. Die so erhaltenen, ebenfalls auf je 10 Einstellungen beruhenden Werthe sind die nachfolgenden:

u	$u'-u$	u	$u'-u$	u	$u'-u$
41r0	0r2577	42r0	0r2589	43r0	0r2563
41.1	2568	42.1	2583	43.1	2525
41.2	2551	42.2	2552	43.2	2531
41.3	2590	42.3	2562	43.3	2534
41.4	2563	42.4	2563	43.4	2558
41.5	2561	42.5	2544	43.5	2547
41.6	2584	42.6	2583	43.6	2569
41.7	2643	42.7	2571	43.7	2559
41.8	2610	42.8	2603	43.8	2563
41.9	0.2597	42.9	0.2593	43.9	0.2590

Die einzelnen Intervalle brauchen hier nicht absolut gleich zu sein, da innerhalb des nämlichen Tages stets nur *eine* Messungsreihe durchgeführt werden konnte und am folgenden Tage die völlig unveränderte Stellung des auf das Ocular aufgeklemmten Apparates nicht mehr garantirt werden konnte. — Bildet man aus den vorstehenden 2 Messungsreihen die Mittelwerthe, so erhält man folgende Zahlen:

	$u'-u$	$u'-u-f$	$u'-u$	$u'-u-f$
0.0	2.3762	+ 0.0002	0.2576	+ 0.0005
0.1	3735	− 0025	2559	− 0012
0.2	3734	− 0026	2543	− 0028
0.3	3721	− 0039	2562	− 0009
0.4	3742	− 0018	2561	− 0010
0.5	3757	− 0003	2551	− 0020
0.6	3787	+ 0027	2579	+ 0008
0.7	3781	+ 0021	2591	+ 0020
0.8	3797	+ 0037	2592	+ 0021
0.9	2.3783	+ 0.0023	0.2593	+ 0.0022
	2.3760		0.2571	

Für die erste Messungsreihe ergiebt sich:

$$f = 2.^{r}3760 = 135^{\circ}\ 22'$$

$$9.251\,\alpha = -\ 0.^{r}006048$$
$$9.251\,\beta = -\ 0.016061$$

$$7.116\,\alpha' = +\ 0.000800$$
$$7.116\,\beta' = +\ 0.000161$$

und für die zweite Reihe:

$$f = 0.^{r}2571 = 92^{\circ}\ 33'$$

$$7.227\,\alpha = -\ 0.^{r}005131$$
$$7.227\,\beta = -\ 0.009586$$

$$9.990\,\alpha' = +\ 0.002825$$
$$9.990\,\beta' = -\ 0.001329$$

Verbindet man die beiden Werthesysteme, so ergiebt sich:

$$\alpha = -\ 0.^{r}000675$$
$$\beta = -\ 0.001578$$
$$\alpha' = +\ 0.000187$$
$$\beta' = -\ 0.000052$$

Die an die Ablesung u anzubringende Correction wegen periodischer Fehler der Schraube ist somit:

$$\varphi(u) = -\ 0.^{r}000675\cos u - 0.^{r}001578\sin u + 0.^{r}000187\cos 2u - 0.^{r}000052\sin 2u\,.$$

Die Darstellung der Werthe $u'-u-f$ durch diese Function ist eine vollständig befriedigende. Um einen Ueberblick über den Gang

der Fehler der Schraube zu haben, sind die Werthe von $\varphi(u)$ von 10° zu 10° in nachstehender Tabelle berechnet.

0°	− 0.0005	90°	− 0.0018	180°	+ 0.0009	270°	+ 0.0014
10	0008	100	0016	190	0011	280	0012
20	0010	110	0014	200	0013	290	0011
30	0013	120	0012	210	0014	300	0009
40	0015	130	0009	220	0015	310	0007
50	0017	140	0005	230	0016	320	0005
60	0018	150	− 0002	240	0016	330	0003
70	0019	160	+ 0002	250	0015	340	+ 0004
80	0019	170	0005	260	0015	350	− 0002
90	− 0.0018	180	+ 0.0009	270	+ 0.0014	0	− 0.0005

Die Vernachlässigung des periodischen Ganges kann sonach für eine Declinationsdifferenz im Maximum einen Fehler von $0^s.0038 = 0''.05$ hervorrufen. Diese Grösse kann durch die einzelne Messung nicht verbürgt werden. Da überdies bei den Messungen durch passende Aenderungen des Coincidenzpunktes für Eliminirung der vom periodischen Gange herrührenden Fehler Sorge getragen ist, kann wohl von einem weiteren Eingehen auf diesen Punkt in Anbetracht der Kleinheit der eventuell noch zurückbleibenden Fehler Abstand genommen und der periodische Gang der Schraube als durch obige Formel hinreichend bestimmt angesehen werden.

§ 5.

Die Vorrichtungen zur Focusirung waren am Leipziger Aequatoreal von sehr primitiver Natur. Eine Verschiebung des Ocularstutzens konnte nur durch eine äusserst rohe Hebelvorrichtung vermittelt werden, die keine stetige, sondern immer nur eine ruckweise Bewegung desselben gestattete, und es war oft längere Zeit erforderlich, um eine vorher bestimmte Stellung des Ocularkopfes zu bewirken. Von meinen Vorgängern ist infolge dessen auch gänzlich davon abgesehen worden, die Focusirung an jedem einzelnen Beobachtungsabende vorzunehmen; man begnügte sich damit, zu Anfang einer längeren Beobachtungsreihe die Focusstellung möglichst genau zu berichtigen und behielt die gefundene Stellung während der Messungsreihe unverändert bei. Das nämliche Verfahren wurde auch von mir befolgt. Dabei hat sich ergeben, dass eine Aenderung der Temperatur keinen merklichen Einfluss auf die scheinbare Aenderung des Focus hervorbringt, so dass jedenfalls die Veränderung

der Brennweite durch die Ausdehnung des metallenen Rohres grösstentheils compensirt wird. Da bei einer constanten Focusirung es sich dennoch ereignen könnte, dass infolge des verschiedenen Wärmeleitungsvermögens von Glas und Messing bei plötzlich eintretenden Temperaturänderungen diese Compensirung doch nicht immer eine vollständige bleibt, sondern das Bild des Sternes zeitweilig eine geringe Grösse vor oder hinter das Fadenkreuz zu liegen kommen könnte und so eine die Beobachtungsgenauigkeit beeinträchtigende Parallaxenwirkung eintreten würde, habe ich stets darauf geachtet, dass alle Messungen in der Mitte des Sehfeldes ausgeführt wurden, was durch Verschiebung des Oculares in zwei aufeinander senkrechten Richtungen leicht zu erreichen ist.

Die Bestimmung des Winkelwerthes einer Schraubenrevolution wurde in der Weise ausgeführt, dass einerseits der Winkelwerth der im Mikrometer vorhandenen Fadenintervalle durch Beobachtung von Sterndurchgängen bestimmt wurde und andererseits die genaue Anzahl von Schraubenrevolutionen ermittelt wurde, welche einem jeden dieser Intervalle entspricht. Die Ausführung dieser Messungen bei den verschiedensten Temperaturen ermöglicht die Abhängigkeit des Schraubenwerthes von der Temperatur zu finden. Da Rohr und Fädenplatte *beide* aus Messing gefertigt sind, ist der Einfluss der Temperatur auf den Winkelwerth der einzelnen Fädenintervalle bei der unverändert beibehaltenen Focuseinstellung als verschwindend klein anzusehen, und in der That verrathen auch die in dieser Hinsicht vorgenommenen Messungen keinen derartigen Einfluss. Anders verhält es sich bezüglich des in Schraubenumdrehungen gemessenen Werthes der einzelnen Fadenintervalle, da die messende Schraube aus Stahl, die die Fäden tragende Platte aus Messing besteht, die Einwirkung der Temperatur auf die zu messende Grösse und den Maassstab sonach eine verschiedene ist. Nimmt man den Winkelabstand des Fadens A_1 von B zu rund 525″.0 an, so ergiebt sich hieraus die lineare Entfernung der Fäden A_1 und B von einander bei einer Brennweite von 3867.00 mm zu 9.8426 mm. Dem Intervall $A_1 B$ entsprechen 39.2700, so dass die Höhe eines Schraubenganges 0.25064 mm beträgt. Unter der Annahme

Ausdehnungscoëfficient des Stahles = 0.0000116
Ausdehnungscoëfficient des Messings = 0.0000187

resultirt dann, dass infolge des Temperatureinflusses bei einer Erwärmung um 1° C. die Verschiebung des von der Schraube bewegten Fadens bei einer Umdrehung der Schraube um den 0.000007077^{ten} Theil der früher durch eine Umdrehung verursachten Weiterbewegung verkleinert wird.

Die vorstehend angenommenen Werthe für die Ausdehnungscoëfficienten von Stahl und Messing sind Durchschnittswerthe, die eventuell beträchtlich von den für die Materialien des Leipziger Instrumentes geltenden abweichen können. Infolge dessen ist auch der eben abgeleitete Werth des Wärmecoëfficienten der Schraube ein sehr unsicherer, kann aber doch wenigstens eine ungefähre Vorstellung über die Grösse und einen sicheren Anhalt inbetreff des Zeichens der zu beschaffenden Quantität abgeben.

Der Einfluss der Wärme auf die metallene Mutter der Schraube und das Widerlager der Schraube kann sich nur in einer Aenderung des Coincidenzpunktes äussern, die auch mehrfach im Zusammenhang mit Temperaturänderungen wahrgenommen ist.

Sehen wir nun zu, welche Werthe die directe Beobachtung für den Schraubenwerth und seinen Wärmecoëfficienten geliefert hat.

Zur Bestimmung des Winkelwerthes der Fädenintervalle wurden die Fäden x und z der Richtung der täglichen Bewegung parallel gestellt und die Antritte von Aequatorsternen an allen Declinationsfäden (an ihrer Kreuzungsstelle mit dem Faden y) beobachtet. Im ganzen wurden 23 Sterne beobachtet, von jedem derselben durchschnittlich 13 Durchgänge. Die Beobachtungen wurden theils bei »Schraube rechts«, theils bei »Schraube links« ausgeführt und zwar stets bei hellem Felde mit rothem, gelbem oder blauem Lichte. Die Temperaturunterschiede waren erhebliche, doch zeigte sich nirgends eine Abhängigkeit der Intervallgrösse von der Temperatur.

Es ergaben sich folgende Werthe:

$A_1C_3 = 1050''.63$	$A_2C_2 = 612''.94$
$A_1C_2 = 831.42$	$A_2C_1 = 525.47$
$A_2C_3 = 832.28$	$A_3C_2 = 525.46$
$A_1C_1 = 743.93$	$A_3C_1 = 437.97$
$A_3C_3 = 744.75$	$\mathrm{I\,III} = 373.25$

Das Mittel der Temperaturen fällt auf + 8°5 R. Mit Hilfe der Schraube sind die Intervalle A_1B, A_2B, A_3B, C_1B, C_2B, C_3B bei

verschiedenen Temperaturen gemessen worden und haben sich die nachstehenden Werthesysteme ergeben:

1879	A_1B	A_2B	A_3B	R.
Sept. 8	39r2838	22r9498	16r3955	+ 22°5
» 9	2790	9445	3948	+ 16.1
» 9	2790	9441	3914	+ 15.9
» 18	2750	9416	3903	+ 17.6
» 18	2745	9419	3914	+ 15.7
Nov. 13	2711	9321	3890	+ 4.2
» 14	2695	9312	3890	+ 3.7
» 19	2711	9339	3902	+ 1.5
» 20	2721	9332	3902	0.0
Dec. 3	39.2648	22.9277	16.3871	— 4.3

1879	C_1B	C_2B	C_3B	R.
Sept. 8	16r3797	22r9565	39r3471	+ 22°5
» 9	3784	9516	3410	+ 16.1
» 9	3781	9534	3446	+ 15.9
» 18	3785	9542	3484	+ 17.6
» 18	3780	9550	3439	+ 15.7
Nov. 13	3788	9484	3382	+ 4.2
» 14	3785	9464	3385	+ 3.7
» 19	3801	9494	3423	+ 1.5
» 20	3785	9460	3406	0.0
Dec. 3	16.3752	22.9447	39.3440	— 4.3

Jeder Werth beruht auf 5 Einstellungen, die so angeordnet wurden, dass die periodischen Fehler der Schraube aus dem Mittel der 5 Einstellungen herausfallen. Die Correctionen wegen des fortschreitenden Ganges sind angebracht. Namentlich bei niederen Temperaturen waren die Messungen etwas schwierig, da das zwischen den zusammengepressten Windungen der Federn verhärtete Oel diese am freien Zurückgehen hinderte. Sehr hinderlich für die Genauigkeit der Ausmessung namentlich der grossen Intervalle war, dass die Schraube um eine so grosse Anzahl Windungen herauf und herab zu bewegen war. Hierbei konnte ein vollständiges Zurückgehen der Federn wahrscheinlich nicht in allen Fällen erzielt werden, da sonst bei der besonderen Sorgfalt, welche gerade auf diese Messungen verwendet wurde, nicht so beträchtliche Abweichungen hätten vorkommen können. Dies erklärt die Widersprüche zwischen einigen Werthen. Nichtsdestoweniger ist der Temperatureinfluss deutlich wahrnehmbar. Aus den 10 Messungsreihen wurden durch Zusam-

menfassen der Beobachtungen von Sept. 8 bis Sept. 18 und Nov. 13 bis Dec. 3 die folgenden 2 Systeme von Normalwerthen gebildet, welche der weiteren Rechnung zu Grunde liegen:

A_1B	A_2B	A_3B	R.
39.2783	22.9444	16.3927	+ 17.6
39.2697	22.9316	16.3891	+ 1.0
39.2740	22.9380	16.3909	+ 9.3

C_1B	C_2B	C_3B	R.
16.3785	22.9541	39.3450	+ 17.6
16.3782	22.9470	39.3407	+ 1.0
16.3783	22.9505	39.3428	+ 9.3

Es ergeben sich die Bedingungsgleichungen

$$652k - 0.0086 = 0$$
$$380k - 0.0128 = 0$$
$$272k - 0.0036 = 0$$
$$272k - 0.0003 = 0$$
$$380k - 0.0071 = 0$$
$$652k - 0.0043 = 0$$

wenn man mit k die Veränderung einer Umdrehung bei einer Temperaturzunahme von 1° R. bezeichnet.

Die Auflösung der Gleichungen ergiebt:

$$k = + 0.0000131 \quad \text{mit dem m. F.} \pm 0.0000038 .$$

Für den Werth des Temperaturcoëfficienten der Schraube haben wir sonach, da $k = +$ ist, mithin der Revolutionswerth des unveränderlichen Winkelintervalles mit der Temperatur wächst, also der Winkelwerth einer Revolution mit zunehmender Temperatur abnimmt:

$$- 0.0000131 \pm 0.0000038 \quad \text{giltig für} + 1° \text{R.}$$

Die Grösse des mittleren Fehlers zeigt, dass dem Werthe des Temperaturcoëfficienten eine erhebliche Unsicherheit anhaftet. Es ist dies nach den vorangegangenen Bemerkungen keineswegs zu verwundern, da augenscheinlich das vorhandene Material zu einer strengen Ableitung des Coëfficienten nicht ausreichend ist. Die Abweichung von dem pag. 24 gefundenen, übrigens für 1° C. geltenden Werthe ist ohne Belang, da wie schon bemerkt wurde, die dort zu Grunde

gelegten Ausdehnungscoëfficienten von Stahl und Messing den bestehenden Verhältnissen nicht streng entsprechen werden. Die vorstehende Untersuchung thut indessen doch deutlich dar, dass ein nachweisbarer Temperaturcoëfficient vorhanden ist, welcher nach Zeichen und Grösse dem für andere Instrumente gefundenen sich gut anschliesst (siehe SEELIGER, Theorie des Heliometers, pag. 76), obgleich beim Leipziger Refractor infolge der constanten Focusirung die das Auftreten eines solchen Coëfficienten bewirkenden Factoren thatsächlich anderer Natur sein müssen.

Für die Ableitung des Winkelwerthes einer Schraubenrevolution erhalten wir durch Verbindung der pag. 24 angegebenen Winkelwerthe der Fadenintervalle mit den ihnen entsprechenden Beträgen in Schraubenrevolutionen auf pag. 26 nachstehende Bedingungsgleichungen, denen gleich die nach Einsetzung des für 1^r gefundenen Werthes übrigbleibenden Fehler beigesetzt sind:

Intervall		v
$A_1 C_3$	$1050''.63 = 78^r.6168$	$+ 0''.09$
$A_1 C_2$	$831.42 = 62.2245$	$- 0.07$
$A_2 C_3$	$832.28 = 62.2808$	$+ 0.04$
$A_1 C_1$	$743.93 = 55.6523$	$+ 0.26$
$A_3 C_3$	$744.75 = 55.7337$	$- 0.01$
$A_2 C_2$	$612.94 = 45.8885$	$- 0.26$
$A_2 C_1$	$525.47 = 39.3163$	$+ 0.10$
$A_3 C_2$	$525.46 = 39.3414$	$- 0.25$
$A_3 C_1$	$437.97 = 32.7692$	$+ 0.08$

Die Auflösung dieser Gleichungen ergiebt:

$$1^r = 13''.3627 \quad \text{mit dem m. F.} \pm 0''.00103 .$$

Dieser Werth gilt für die Temperatur $+ 9°.3$ R.

Nennt man die am Instrumente abgelesene Temperatur t, so haben wir sonach für den dieser Temperatur entsprechenden Winkelwerth einer Umdrehung der Mikrometerschraube:

$$13''.3627 - 0''.000176\,(t - 9°.3\ \text{R.}) .$$

§ 6.

Die nachfolgenden Ausmessungen von Sternhaufen sind in der Zeit von August 1879 bis Februar 1882 ausgeführt worden. Der

Grund für diese zeitlich grosse Ausdehnung der Arbeit lag hauptsächlich in dem Umstande, dass nach dem Arbeitsprogramm der Leipziger Sternwarte meine Thätigkeit am Aequatoreal in erster Linie auf die laufende Beobachtung der Planetoiden und Cometen gerichtet sein sollte. Bei der mit jedem Jahre sich mehr häufenden Zahl der Himmelskörper ersterer Gattung blieb für anderweitige Arbeiten am Aequatoreal nur wenig Zeit übrig.

In Ermangelung eines Uhrwerkes musste ich mich auf Bestimmung von α- und δ-Differenzen bei ruhendem Fernrohr beschränken. Der Nullpunkt des Positionskreises wurde unter regelmässiger Controle gehalten und an jedem Beobachtungsabende vor Beginn der Messungen berichtigt; es geschah dies mit Hilfe von dem Aequator nahe stehenden Sternen, welche ich im Meridian den Faden B resp. x oder y entlang laufen liess. Da diese Operation immer im Meridian oder doch nur wenige Minuten davon entfernt ausgeführt wurde, so sind die auf diese Weise für den Nullpunkt des Positionskreises erhaltenen Zahlenangaben unter einander vergleichbar, insofern als sie die Lage des *wahren* Parallels ausdrücken. Für die Tage, an welchen ich Ausmessungen an den Sternhaufen vorgenommen habe, gebe ich nachfolgend eine Zusammenstellung der dem wahren Parallel entsprechenden Einstellungen des Positionskreises, bei welchen die Messungen ausgeführt worden sind.

1879		1880	
Aug. 17	180° 18.′0	Jan. 19	180° 12.′0
» 19	17.0	» 26	13.0
» 21	16.0		12.5
Sept. 3	14.5	» 27	13.0
» 4	15.0		13.0
» 6	15.0	» 30	12.5
» 12	15.0	» 31	12.0
» 13	15.0	Febr. 2	12.0
» 16	15.5	» 5	13.0
» 23	15.0	» 9	12.5
Oct. 24	15.0	März 1	12.0
Nov. 3	12.0	» 12	14.0
» 7	12.0	Juni 27	13.0
» 9	12.0	» 29	11.0
Dec. 15	10.5	Juli 6	11.5
» 17	12.0	» 17	16.0
» 21	180 12.0	» 21	180 14.0

1880		1882	
Aug. 5	180° 14.′0	Jan. 4	180° 17.′0
» 17	15.0	» 13	18.0
» 18	13.0	» 14	18.0
» 19	13.0	» 16	18.0
» 20	13.0	» 17	18.0
» 25	13.0	» 28	18.0
» 28	13.0	Febr. 1	19.0
Nov. 28	14.0	» 2	18.0
» 29	180 14.0	» 3	18.0
		» 10	18.0
		» 11	18.0
1881 Dec. 10 im Beobachtungsbuche fehlt eine Notirung.		» 12	18.0
		» 13	180 18.5

Man sieht aus diesen Zahlen, dass die Constanz des Nullpunktes eine ganz befriedigende gewesen ist, wenn schon ein ausgeprägter Gang keineswegs zu verkennen ist. Hierbei ist indessen noch zu bemerken, dass nicht jede dieser Zahlen eine unabhängige Neubestimmung*) in sich schliesst, sondern dass ich mich in *einzelnen* Fällen damit begnügte zu constatiren, dass eine merkbare Abweichung von der letzten Bestimmung nicht wahrnehmbar sei. Dieses — allerdings nicht ganz correcte — Verfahren befolgte ich, wenn es erst in vorgerückten Nachtstunden klar wurde oder wenn die Qualität und Ruhe der Bilder nicht derart waren, dass eine wirkliche Neubestimmung bessere Resultate hätte liefern können. Wenn derartige Fälle auch nur vereinzelt vorgekommen sind, so erklärt sich durch sie doch an einigen Stellen die völlige Uebereinstimmung aufeinander folgender Werthe. Im Allgemeinen wird man annehmen können, dass durch das gewöhnlich befolgte Verfahren, welches doch immer mehr oder weniger auf ein Tatonnement hinausläuft, der Nullpunkt des Positionskreises wohl höchstens bis auf 1′ sicher bestimmt werden kann.

Die zu Anfang des Beobachtungsabendes gefundene Einstellung für den wahren Parallel (eventuell vermehrt um 90° oder 270°) wurde für den ganzen Abend auch ausserhalb des Meridianes beibehalten, so dass durchweg die gemessenen Grössen sich auf den

*) Ich bediente mich zu diesen des von Valentiner bei seinen Sternhaufenausmessungen angewendeten Verfahrens. »Astronomische Beobachtungen auf der Grossherzogl. Sternwarte zu Mannheim. Dritte Abtheilung«.

wahren Parallel beziehen. Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass die Aufstellungsfehler des Instrumentes verschwindend klein sind. Dies ist zwar nicht in aller Strenge der Fall, doch haben sich dieselben stets so klein gehalten, dass ihr Einfluss völlig vernachlässigt werden kann und zwar um so eher, als es nicht immer hat ermöglicht werden können, die Beobachtungen ganz symmetrisch zur Absehenslinie auszuführen. Die auftretenden Vernachlässigungen, soweit solche überhaupt vorhanden sind, tragen sonach den Charakter der zufälligen Fehler und könnten höchstens den mittleren Fehler der Beobachtungen um eine kleine Quantität vergrössern, den Mittelwerth können dieselben keinesfalls beeinflussen. — Mit sehr vereinzelten Ausnahmen war es möglich, die Beobachtungen innerhalb $\pm 2^h$ Stundenwinkel auszuführen. Innerhalb dieser Grenzen beträgt für $\delta = +10^\circ$ die Abweichung des scheinbaren Parallels vom wahren im Maximum $0'.5$, für den grössten überhaupt vorkommenden Stundenwinkel von $4^h\,35^m$, in welchem einige wenige α-Differenzen gemessen wurden, steigt sie für $\delta = +10^\circ$ auf $3'.3$ an.

Beschränkt man sich für niedere Declinationen auf die Stundenwinkel zwischen $+2^h$ und -2^h, so kann man hiernach für nicht zu grosse δ-Differenzen unbedenklich den scheinbaren und den wahren Parallel als identisch ansehen. Für die Reduction kleiner δ-Differenzen — in unserem Falle betragen dieselben im Maximum $300''$ — ist dieses Verfahren vollkommen streng. Betreffs der Reduction der α-Differenzen habe ich es aber vorgezogen, durchweg die Refraction zu vernachlässigen. Hat man, wie es hier geschehen ist, bei den Messungen das Fadennetz nach dem *wahren* Parallel orientirt, so begeht man hierdurch für $\delta = +10^\circ$ und $\Delta\delta = 300''$ selbst bei dem grössten vorkommenden Stundenwinkel von $4^h\,35^m$ nur eine Vernachlässigung von $0^s.002$.

Die Antritte der Sterne an die α-Fäden wurden durchgängig registrirt. Der hierzu verwendete Apparat, welcher im Beobachtungsraume selbst aufgestellt war, ist ein Punktapparat mit Federaufzug von Fuess. Bei mittleren und hohen Temperaturen functionirte derselbe gut, bei niederen Temperaturen aber war die Bewegung des Streifens sehr langsam und oft unregelmässig, ja es kam bei extrem niederen Temperaturen sogar ein völliges Versagen des Apparates vor. Gewöhnlich wurde nicht nur ein Stern mit dem be-

treffenden Hauptstern verglichen, sondern gleichzeitig mehrere in Declination nahe zusammenliegende. Auf diese Weise wurde die Beobachtungszeit bedeutend abgekürzt, ohne dass bei passender Auswahl der Sterne für die einzelnen schmalen Zonen eine Beeinträchtigung der Genauigkeit zu befürchten gewesen wäre. Im Durchschnitt beruht jedes Abendmittel auf 10 Durchgängen.

Bei Beobachtung der Declinationen wurde stets das vorausgehende Object durch Benutzung der Feinbewegung in Declination mit Faden *B* beim Durchgang durch Faden *y* zur Deckung gebracht, das nachfolgende Object an der nämlichen Stelle mit Hilfe der Mikrometerschraube mit einem der 3 beweglichen δ-Fäden, und zwar wurde letzterer — mit sehr vereinzelten Ausnahmen — immer so gewählt, dass nur eine kleine, im Maximum 8^r betragende Bewegung der Schraube auszuführen war, um die Fäden II und *B* zur Concidenz zu bringen. Die Messung letzterer Concidenz wurde unmittelbar nach Schluss der Beobachtungen bei unveränderter Einstellung des Positionskreises in einem der Mitte der Beobachtungszeiten entsprechenden Stundenwinkel ausgeführt. Die so gemessenen und der Reduction der Beobachtungen zu Grunde gelegten Concidenzen sind die folgenden.

Coincidenz *B* II.

1879		1880	
Sept. 3	$44^r.9861$	Jan. 26	$44^r.5298$
» 4	44.7806	» 27	45.1975
» 6	44.8251	» 30	45.1975
» 12	45.4349	» 31	45.1999
» 16	45.4327	Febr. 2	45.1973
» 23	45.4454	» 5	45.2127
Nov. 7	44.9823	» 9	45.0234
» 9	44.7517 [1]	März 1	45.0140
	44.7475 [2]	Juli 21	45.0132
Dec. 15	45.5465	Aug. 5	45.0106
» 17	45.5436	» 17	44.8124 [3]
» 21	44.5225		45.1993 [4]

1) Gruppe zerstreuter Sterne.
2) G. C. 1440.
3) $t < 0^h\,0^m$.
4) $t > 0^h\,0^m$.

1880		1882	
Aug. 18	44.6240	Jan. 4	47.7928
» 19	44.6246	» 13	47.8025
» 20	44.6246	» 16	47.5344
» 25	44.6224	» 28	47.5286
» 28	45.2003	Feb. 2	47.5262
		» 3	47.5242
		» 10	47.5286
1881		» 11	47.9543
Dec. 10	48.0279	» 12	47.9584

Des Weiteren lasse ich hier für die einzelnen Beobachtungsabende die meteorologischen Elemente folgen. Die einzelnen Columnen geben in ihrer Reihenfolge Datum, Quecksilbertemperatur, Barometerstand, Lufttemperatur, Temperatur im Kuppelraum. Der Einfluss von Luftdruck und Lufttemperatur ist für die Berechnung der Refraction ein fast völlig verschwindender in Anbetracht der Kleinheit der beobachteten Declinationsdifferenzen; auch der Einfluss der Temperatur auf den Schraubenwerth ist sehr minimal und beträgt selbst für die grössten gemessenen δ-Differenzen nur wenige Hundertstel Bogensecunden.

1879	C.	mm	C.	R.	
Aug. 17	+ 18°	751	+ 15°	+ 15°	
» 19	+ 18	753	+ 13	+ 13	
» 21	+ 19	751	+ 22	+ 19	
Sept. 3	+ 17	758	+ 15	+ 15	
» 4	+ 17	755	+ 17	+ 16	
» 6	+ 17	750	+ 17	+ 16	
» 12	+ 17	753	+ 13	+ 14	G. C. 4460
	+ 17	753	+ 12	+ 10	G. C. 1440
» 13	+ 17	752	+ 14	+ 15	
» 16	+ 17	754	+ 15	+ 14	
» 23	+ 16	751	+ 9	+ 11	
Oct. 24	+ 9	753	+ 5	+ 5	
Nov. 3	+ 7	756	+ 1	+ 2	
» 7	+ 7	764	+ 1	+ 3	
» 9	+ 7	763	0	+ 3	G. C. 4460
	+ 7	761	0	+ 2	G. C. 1440
Dec. 15	— 3	767	— 12	— 8	
» 17	— 3	764	— 8	— 5	
» 21	— 4	764	— 12	— 6	

1880	C.	mm	C.	R.	
Jan. 19	— 2°	763	— 11°	— 6°	
» 26	— 1	763	— 6	— 2	G. C. 4460
	— 1	763	— 7	— 3	G. C. 1440
» 27	— 1	762	— 9	— 3	G. C. 4460
	— 2	762	— 10	— 5	G. C. 1440
» 30	— 2	763	— 4	— 1	
» 31	— 2	763	— 7	— 2	
Febr. 2	— 2	763	— 7	— 3	
» 5	— 2	756	— 5	— 2	
» 9	— 1	747	— 2	0	
März 1	+ 4	743	+ 5	+ 6	
» 12	+ 4	749	+ 5	+ 5	
Juni 27	+ 17	759	+ 15	+ 13	
» 29	+ 17	754	+ 17	+ 14	
Juli 6	+ 17	757	+ 13	+ 11	
» 17	+ 21	753	+ 18	+ 16	
» 21	+ 19	756	+ 14	+ 13	
Aug. 5	+ 18	751	+ 13	+ 14	
» 17	+ 18	754	+ 15	+ 14	
» 18	+ 18	755	+ 17	+ 16	
» 19	+ 18	755	+ 15	+ 14	
» 20	+ 18	754	+ 18	+ 17	
» 25	+ 19	755	+ 19	+ 17	
» 28	+ 19	759	+ 16	+ 15	
Nov. 28	+ 7	767	+ 2	+ 3	
» 29	+ 7	765	+ 1	+ 3	
1881					
Dec. 10	+ 5	747	— 2	+ 1	
1882					
Jan. 4	+ 1	753	+ 3	+ 2	
» 13	+ 4	768	— 3	0	
» 14	+ 3	771	— 3	0	
» 16	+ 2	775	— 4	0	
» 17	+ 2	773	— 3	+ 1	
» 28	+ 1	763	— 1	+ 1	
Febr. 1	+ 1	772	— 6	— 2	
» 2	+ 1	768	— 5	— 1	
» 3	+ 1	766	— 5	0	
» 10	+ 2	759	— 1	+ 3	
» 11	+ 2	755	+ 1	+ 3	
» 12	+ 2	758	— 2	+ 3	
» 13	+ 2	759	+ 3	+ 5	

Bei allen Beobachtungen, in Rectascension sowohl als in Declination, wurde Sorge dafür getragen, dass die Beobachtung in der

Mitte des Ocularfeldes ausgeführt wurde, was mit Hilfe der beiden Ocularschlitten leicht zu erreichen war. Störende Parallaxenwirkungen sind auf diese Weise wohl völlig vermieden worden.

Nur an den ersten Beobachtungsabenden, bis 1879 November 3, wurden Rectascension und Declination bei der nämlichen Einstellung des Positionskreises beobachtet; von da ab wurde auch für die Rectascensionsbeobachtungen Faden *B* benutzt, nachdem das Fadensystem um 90° gedreht worden war.

Die helleren Sterne wurden in Declination meist bei hellem Felde beobachtet; in Rectascension dürfte, so weit die Helligkeit es erlaubte, Feld- und Fadenbeleuchtung gleichmässig angewendet worden sein. Bei Anwendung der Feldbeleuchtung wurde des Oefteren auch durch Vorschieben farbiger Gläser vor die Beleuchtungslampe eine blaue oder rothe Färbung des Sehfeldes hervorgerufen und findet sich dieses in der am Schlusse dieses Paragraphen gegebenen Zusammenstellung über die Witterung etc. jedes Mal notirt.

Auf Grössenschätzungen habe ich fast durchweg wenig Werth gelegt und diese nur immer beiläufig ausgeführt, wenigstens was die schwächsten Grössenclassen anbetrifft. In den am Schlusse der einzelnen Ausmessungen gegebenen Zusammenstellungen der Resultate ist daher für die Grösse auch immer direct das Mittel angesetzt worden, ohne dass durch Berücksichtigung der Extinction die einzelnen Schätzungen auf ein gemeinsames System gebracht worden wären.

Die Beobachtungen wurden meist bei »Fernrohr voraus« angestellt, da dies die dem Beobachter bequemste Lage war, vereinzelt ist auch bei »Fernrohr folgt« gemessen worden. Mit der Schraubenlage wurde auch nicht regelmässig gewechselt und dürften die Messungen bei Schraube oben vorwiegend sein. Dass immer streng darauf gesehen wurde, dass Beobachtung und Coincidenzmessung immer bei der nämlichen Schraubenlage ausgeführt wurden, habe ich bereits oben bemerkt.

Die angewandte Vergrösserung war durchweg eine 192fache; eine stärkere hätte höchstens in sehr vereinzelten Fällen zur Anwendung kommen können, da die Beschaffenheit der Bilder zumeist zu wünschen übrig liess. Die Kuppel wurde gewöhnlich schon mehrere Stunden vor Beginn der Beobachtungen geöffnet und für hinreichenden

Luftzug gesorgt, die Ausgleichung der Temperatur war aber nur eine sehr langsame. Namentlich glaube ich, dass häufig der Unterschied zwischen der Temperatur der Luft im Freien und der im Rohre eingeschlossenen Luft ein ziemlich bedeutender gewesen ist. Für die Güte der Bilder dürfte dieser Umstand nicht unwesentlich gewesen sein. Am Schlusse dieses Paragraphen gebe ich unter der Ueberschrift »Bemerkungen« auch die Uebersicht über die Beschaffenheit der Luft und die Güte der Bilder. Letztere wird durch die Zahlen I bis IV ausgedrückt, wo I »ganz vorzüglich« bedeutet und IV ausdrückt, dass Messungen gerade noch möglich gewesen sind. Die Güte der Bilder findet ihren Ausdruck auch in der grösseren oder geringeren Sichtbarkeit des Nebels und der beiden Begleiter von 15 Monocerotis, weswegen ich an dieser Stelle auch die hierauf bezüglichen Notizen aufgeführt habe (Näheres hierüber bei der Ausmessung von 15 Monoc.).

An die gemessenen α- und δ-Differenzen sind angebracht die Correctionen wegen Reduction auf den Jahresanfang und das Aequinoctium 1880.0, die Refraction, fortschreitender und periodischer Gang der Schraube und die Correction des Schraubenwerthes wegen Temperatur. Bezüglich der letzteren Correction ist zu berücksichtigen, dass der pag. 29 abgeleitete Werth einer Schraubenumdrehung für $+ 9^{\circ}3$ gilt, während die pag. 16 auf Grund der Untersuchung über den fortschreitenden Gang der Schraube gefundenen Werthe der Intervalle der beweglichen Fäden, ausgedrückt in Schraubenumdrehungen, für eine Temperatur von $+ 16^{\circ}$ gelten.

Das Schema, nach welchem die Messungen selbst publicirt sind, bedarf nur geringer Erläuterungen. Nach dem Datum ist unter der Bezeichnung t der Stundenwinkel der Beobachtung angeführt, zur Vermeidung der Zeichen von 0^{h} bis 24^{h} gezählt.

Z. d. B. giebt die Zahl der einzelnen Durchgänge oder Einstellungen an, für $\Delta\alpha$ im Mittel 7, für $\Delta\delta$ 4 oder 5 betragend.

Σ_c bezeichnet die Gesammtsumme aller an die *gemessene* Differenz anzubringenden Correctionen und zwar mit dem Zeichen, mit welchem sie an den *absoluten* Betrag der Differenz anzubringen ist. Als Einheit gilt für $\Delta\alpha$ $0^{s}.001$, für $\Delta\delta$ $0''.91$.

Unter $\Delta\alpha$ und $\Delta\delta$ sind die wegen Σ_c bereits corrigirten α- und δ-Differenzen angeführt nebst ihren Mitteln und mittleren Fehlern.

Die Columnen »Schraube« und »F« bei den Declinationsdifferenzen geben das Mittel aus den Ablesungen der Schraube und den benutzten beweglichen δ-Fäden an.

Jeder Stern sollte durchschnittlich an 6 bis 8 Abenden in Rectascension und an 4 bis 5 Abenden in Declination beobachtet werden, soweit nicht aus besonderen Gründen eine grössere Genauigkeit seiner Position erwünscht war. Bei den schwächeren Sternen musste ich mich theilweise aber mit weniger Beobachtungen begnügen, da an vielen Abenden die Luftverhältnisse für die Beobachtung dieser Objecte zu ungünstig waren. Einige wenige ganz schwache Sternchen gelang es überhaupt nur an 1 bis 2 Abenden zu beobachten.

Bei der Vereinigung der Beobachtungen des nämlichen Sternes zum Mittel habe ich auf eine Vertheilung von Gewichten verzichtet, die der Natur der Sache nach doch mehr oder weniger willkürlich hätten gewählt werden müssen. Zur Beiseitelassung einzelner Beobachtungen habe ich mich nur in einem einzigen Falle für befugt gehalten, in welchem offenbar ein constantes Versehen beim Ablesen der Schraube vorgefallen sein musste. Sonstige stärker abweichende Beobachtungen, bei welchen die Ursache der Abweichung nicht auffindbar war, habe ich unverändert beibehalten.

Leitet man aus sämmtlichen Beobachtungen, welche auf Anschlüssen an mindestens 4 Abenden beruhen, den mittleren Fehler eines einzelnen Abendes ab, so findet sich:

für $\Delta\alpha$ $\pm 0^s.059$,
für $\Delta\delta$ $\pm 0''.52$.

Scheidet man indessen die beiden in einander ganz besonders stark abweichenden Declinationsbestimmungen G. C. 4460 16—23 und 20—23 aus, so findet sich:

für $\Delta\delta$ $\pm 0''.46$.

Die mittleren Fehler bei den verschiedenen Ausmessungen sind nicht ganz gleich. Es ergiebt sich der m. F. eines einzelnen Abends:

bei G. C. 4460

für $\Delta\alpha$ zu $\pm 0^s.069$ für $\Delta\delta$ zu $\pm 0''.68$

oder bei Ausschluss der Sterne 16 und 20 ± 0.51;

bei G. C. 1440

für $\Delta\alpha$ zu $\pm 0^s.053$ für $\Delta\delta$ zu $\pm 0''.40$;

bei der Sterngruppe bei o Piscium

für $\Delta\alpha$ zu $\pm 0^s.048$ für $\Delta\delta$ zu $\pm 0''.050$.

Die grösseren mittleren Fehler bei G. C. 4460 sind wohl hauptsächlich den ungünstigeren atmosphärischen Verhältnissen und dem Umstande zuzuschreiben, dass dieser Sternhaufen hauptsächlich aus schwächeren Sternchen besteht.

Da im Durchschnitt jeder Stern in Rectascension an 7, in Declination an 5 Abenden beobachtet ist, ergiebt sich, wenn man auf die Grösse der Sterne keine Rücksicht nimmt, als mittlerer Fehler

eines definitiven $\Delta\alpha$ $\pm 0^{s}022$,
eines definitiven $\Delta\delta$ $\pm 0''23$.

Es sind dies indessen nur Durchschnittswerthe. Zur leichteren Beurtheilung der inneren Uebereinstimmung der für jeden Stern thatsächlich gefundenen Werthe habe ich jedem $\Delta\alpha$ und $\Delta\delta$ seinen mittleren Fehler beigefügt, sobald dasselbe auf Beobachtungen an mindestens 4 Abenden beruht.

Bemerkungen.

1879	
Aug. 17	II.
» 19	sehr variabel, erst IV, dann III—IV; anfangs starker Nebel, die schwächeren Sterne nur selten sichtbar.
» 21	II.
Sept. 3	II—III, ☾, sehr dunstig, einzelne Strati, Sterne zeitweise *sehr* unruhig.
» 4	III—IV, dann II—III, ☾, Cirri.
» 6	II—I, ☾.
» 12	anfangs III—IV, Cirrostrati, dann II; bei G. C. 1440 rothes Feld; die Secundenintervalle auf dem Registrirstreifen sind *sehr* klein und variabel.
» 13	I—II.
» 16	II—III.
» 23	III, ☾.
Oct. 24	II—I, rothes Feld.
Nov. 3	II—III, ☾ nahe, vorher und nachher trübe, Bedeckung wechselnd, *N* nicht sichtbar, *M* deutlich 3fach, blaues Feld.
» 7	III, ☾, Sterne verwaschen, *N* unsichtbar, blaues Feld.
» 9	bei G. C. 4460 III, bei G. C. 1440 II—III, *N* unsichtbar, *M* 3fach, blaues Feld.

1879

Dec. 15 II—III, *N* unsichtbar, *M* schlecht 3fach, blaues Feld.

» 17 IV, starker Nebel und Rauch, Sterne sehr unruhig, blaues Feld.

» 21 III—IV, ☾ nahe, wegen Kälte Fädenbeleuchtung schlecht, blaues Feld.

1880

Jan. 19 IV, feiner Dunst, Bilder schlecht und unruhig, 6 und 7 öfters nicht zu trennen, ☾, Chronograph setzt aus.

» 26 II—III; Tag vor dem Vollmond, Sterne etwas unruhig, *N* unsichtbar, *M* anfangs schlecht doppelt, dann gut 3fach.

» 27 Vollmond, bei G. C. 4460 III, bei G. C. 1440 II—III, *N* unsichtbar, *M* schlecht 3 fach.

» 30 II.

» 31 II.

Febr. 2 II—III, Sterne springen sehr, *N* sichtbar, *M* 3fach, blaues Feld.

» 5 Sterne hüpfen etwas, *N* unsicher zu sehen, *M* gut 3fach.

» 9 *N* schlecht zu sehen, *M* gut 3fach.

März 1 Sterne sehr unruhig, *N* sichtbar, *M* 3fach, Beleuchtung schlecht.

» 12 Sterne sehr unruhig, ☾, wurde trübe.

Juni 27 III—IV, Dunst, Cirri, ☾, Sterne unter 11. Grösse nur mit Anstrengung zu beobachten.

» 29 II, anfangs III und Cirri, dunstig, später ☾.

Juli 6 II, wurde trübe.

» 17 III—II, ☾, zuletzt ganz trübe, Vieles nur durch Wolken erlangt.

» 21 II—III, Sterne erscheinen alle sehr schwach wegen Vollmond und Dunst.

Aug. 5 anfangs noch Dämmerung und II—III, dann I—II.

» 17 III, ☾, Cirri, viel Dunst.

» 18 IV—III, ☾, alles voll Wolken.

» 19 ☾, Sterne *sehr* unruhig, Luft aber *sehr* durchsichtig.

» 20 die gemessenen Objecte wegen ☾ schwer zu sehen.

» 25 II.

» 28 IV, Cirri überziehen den ganzen Himmel.

1881

Dec. 10 ☾, Alles leicht überzogen, Sterne schwach und sehr unruhig, *M* schlecht doppelt.

1882

Jan. 4 III, Vollmond, oft plötzlich ganz mit Wolken überzogen, *N* nicht zu sehen, *M* gut 3fach, rothes Feld.

» 13 II, Sterne unruhig, *N* nur sehr schwach, *M* gut 3fach, aber sehr flackernd. Nebel steigt auf, zuletzt ganz trübe.

» 14 III—IV, Sterne sehr schwach, die schwachen Objecte zuletzt nicht mehr zu sehen; am Schlusse unten ganz trübe, oben neblig.

» 16 II—I, Luft ausserordentlich durchsichtig.

» 17 II.

» 28 ☾, Sterne unruhig, wurde trübe.

Febr. 1 ☾, schlechte und unruhige Bilder; da die Sterne oft 5″ bis 6″ hin und her sprangen, wurde die Beobachtung abgebrochen.

» 2 Sterne anfangs sehr unruhig, dann gute Luft.

» 3 ☾, Sterne springen.

» 10 II, Sterne aber manchmal plötzlich sehr unruhig, viel Rauch.

» 11 neblig, Luft ruhig, aber wenig durchsichtig, *M* gut definirt, schwache Objecte aber nur mit Mühe zu sehen.

» 12 Sterne *sehr* unruhig.

» 13 *sehr* unruhige Bilder.

§ 7.

Ausmessung des Sternhaufens G.C. 4460 (h 2027).

Die Beschreibung dieses Objectes bei HERSCHEL lautet: cluster, poor, little compressed. — VOGEL (Publicationen der Leipziger Sternwarte) hat dieses Object zwei Mal aufgesucht und sagt darüber:

»Juli 9, 1868: Etwa 8 Sterne 10. Grösse und mehrere schwächere im Sehfeld (V. 96). AR. $18^h\ 55^m\ 13^s$; Decl. $+\ 11°\ 25'$ (1870.0).

Sept. 28, 1869: Sternhaufen aus etwa 20 bis 30 Sternen gebildet; AR. $18^h\ 55^m\ 23^s$; Decl. $+\ 11°\ 26'$ (1870.0).«

Im Ganzen habe ich 28 Objecte zur Messung herangezogen, von denen ich den hellsten (Grösse 9.0) als Hauptstern benutzte. Derselbe ist mit No. 23 bezeichnet und sind alle anderen Sterne an diesen angeschlossen worden mit Ausnahme des Sternes No. 22, dessen geringe Rectascensiondifferenz dies nicht gestattete. Letzterer Stern wurde mit den als 24 und 25 bezeichneten Sternen verglichen.

Rectascensionsdifferenzen 1880.0.

1 — 23 ($\Delta\delta = +\ 2'\ 27''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_e	$\Delta\alpha$
1879 Aug. 21	$0^h\ 17^m$	10	— 2	— 48ˢ.168
» Sept. 6	1 34	9	— 5	— 48.078
» Sept. 12	1 14	7	— 4	— 47.990
» Sept. 13	0 38	11	— 4	— 47.896
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 47.955
» Aug. 5	23 51	10	— 3	— 48.017
				— 48.017 ± 0ˢ.039

2 — 23 ($\Delta\delta = -\ 4'\ 16''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	— 1	— 43.899
» Aug. 19	0 51	11	— 1	— 43.944
1880 Juni 29	23 6	10	+ 1	— 43.810
» Juli 17	23 28	11	0	— 43.773
» Aug. 5	23 28	10	+ 1	— 43.764
				— 43.838 ± 0.035

3—23 ($\Delta\delta = +1'59''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Aug. 21	$0^h\ 49^m$	9	— 2	— 42^s.842
» Sept. 6	1 34	8	— 3	— 42.691
» Sept. 12	1 14	7	— 2	— 42.584
» Sept. 13	0 38	11	— 2	— 42.630
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 42.644
» Aug. 5	23 51	9	— 3	— 42.619
				— 42 668 ± 0^s.037

4—23 ($\Delta\delta = +3'4''$)

1879 Aug. 21	0 17	10	— 2	— 38.423
» Sept. 6	1 34	9	— 3	— 38.475
» Sept. 12	1 14	7	— 3	— 38.404
» Sept. 13	0 38	11	— 2	— 38.357
1880 Juli 17	23 28	11	+ 1	— 38.360
» Aug. 5	23 51	10	0	— 38.390
				— 38.401 ± 0.017

5—23 ($\Delta\delta = +0'14''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	— 2	— 37.473
» Aug. 19	0 51	11	— 2	— 37.456
» Aug. 21	0 49	9	— 2	— 37.531
» Sept. 3	1 48	11	— 3	— 37.283
» Sept. 4	1 2	10	— 3	— 37.547
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 37.305
» Aug. 5	23 38	10	— 2	— 37.373
				— 37.424 ± 0.040

6—23 ($\Delta\delta = +0'31''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	— 2	— 31.798
» Aug. 19	0 51	11	— 2	— 31.752
» Aug. 21	0 17	10	— 2	— 31.648
» Sept. 3	1 48	11	— 3	— 31.661
» Sept. 4	1 2	9	— 3	— 31.802
» Sept. 13	0 38	11	— 3	— 31.592
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 31.672
» Juli 17	23 28	11	— 1	— 31.713
» Aug. 5	23 28	10	— 1	— 31.684
				— 31.702 ± 0.024

7—23 ($\Delta\delta = +\,0'\,44''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Aug. 17	$0^h\ 48^m$	10	— 1	— 28.499
» Aug. 19	0 51	11	— 1	— 28.567
» Aug. 21	0 17	10	— 1	— 28.560
» Sept. 3	1 48	11	— 2	— 28.498
» Sept. 4	1 2	10	— 2	— 28.623
1880 Juni 29	23 54	9	+ 1	— 28.518
» Aug. 5	23 38	10	— 1	— 28.504
				— 28.538 ± 0.018

8—23 ($\Delta\delta = +\,3'\,23''$)

1879 Aug. 19	0 51	11	— 2	— 27.339
» Aug. 21	0 17	10	— 1	— 27.259
» Sept. 4	1 2	10	— 2	— 27.408
» Sept. 6	1 34	9	— 2	— 27.359
» Sept. 12	1 14	7	— 2	— 27.341
» Sept. 13	0 38	11	— 1	— 27.290
1880 Aug. 5	23 28	10	— 1	— 27.224
» Aug. 5	23 51	10	— 1	— 27.439
				— 27.332 ± 0.026

9—23 ($\Delta\delta = -\,0'\,58''$)

1879 Aug. 21	0 49	9	— 1	— 19.443
» Sept. 6	1 34	8	— 1	— 19.468
» Sept. 12	1 14	7	— 1	— 19.416
» Sept. 13	0 38	11	— 1	— 19.285
1880 Juni 29	0 13	9	0	— 19 211
» Juli 17	23 28	8	0	— 19.500
» Aug. 5	23 28	10	— 1	— 19.404
				— 19.390 ± 0.040

10—23 ($\Delta\delta = +\,1'\,16''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	0	— 18.260
» Aug. 19	0 51	11	0	— 18.268
» Aug. 21	0 17	10	0	— 18 195
» Sept. 4	1 2	10	— 1	— 18.310
» Sept. 6	1 34	8	— 1	— 18.268
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 18.241
» Aug. 5	23 51	10	— 1	— 18.309
				— 18.265 ± 0.014

11—23 ($\Delta\delta = -2'\,35''$)

Datum	t	Z. d. R.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Aug. 19	$0^h\ 51^m$	11	0	$-15^s.664$
» Aug. 21	0 49	9	0	— 15.544
» Sept. 12	1 14	6	0	— 15.492
» Sept. 13	0 38	11	— 1	— 15.394
» Sept. 16	0 41	10	— 1	— 15.404
1880 Juni 27	23 47	10	0	— 15.460
» Juni 29	0 13	10	0	— 15 395
				— 15.479 ± $0^s.037$

12—23 ($\Delta\delta = -3'\,37''$)

1879 Aug. 19	0 51	10	+ 1	— 12.746
» Aug. 21	0 49	9	+ 1	— 12.745
» Sept. 12	1 14	7	+ 1	— 12.708
» Sept. 13	0 38	11	0	— 12.645
» Sept. 16	0 41	10	0	— 12.605
1880 Juni 27	23 47	10	+ 1	— 12.611
» Juni 29	0 13	10	+ 1	— 12.611
« Aug. 5	23 28	10	+ 1	— 12.646
				— 12.665 ± 0.021

13—23 ($\Delta\delta = +0'\,10''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	— 1	— 11.759
» Aug. 21	0 17	10	— 1	— 11.784
» Sept. 3	1 48	11	— 1	— 11.763
» Sept. 4	1 2	10	— 1	— 11.934
» Sept. 6	1 34	9	— 1	— 11.837
» Sept. 16	0 18	10	— 1	— 11.809
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 11.827
» Aug. 5	23 51	10	— 1	— 11.889
				— 11.825 ± 0 022

14—23 ($\Delta\delta = +0'\,4''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	— 1	— 9 029
» Aug. 21	0 17	10	— 1	— 8.979
» Sept. 3	1 48	11	— 1	— 8.990
» Sept. 4	1 2	10	— 1	— 9.060
» Sept. 6	1 34	9	— 1	— 9.021
» Sept. 13	0 38	11	— 1	— 8.917
» Sept. 16	0 18	10	— 1	— 8.974
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 9.061
				— 9.004 ± 0.017

15—23 ($\Delta\delta = +4'3''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Aug. 21	$0^h\ 17^m$	10	0	— 6.670
» Sept. 16	0 18	10	0	— 6.585
1880 Juni 27	23 29	12	0	— 6.492
» Juni 29	23 36	10	— 1	— 6.559
» Juli 17	23 13	12	0	— 6.546
» Juli 21	23 6	11	0	— 6.591
				— 6.574 ± 0.024

16—23 ($\Delta\delta = -4'34''$)

1880 Juni 27	23 54	10	+ 1	— 6.001
» Juni 29	23 6	10	0	— 5.968
» Juni 29	0 13	10	+ 1	— 5.956
» Juli 17	23 28	11	+ 1	— 5.924
» Aug. 5	23 12	12	0	— 6.029
				— 5.976 ± 0.017

17—23 ($\Delta\delta = -0'45''$)

1879 Aug. 17	0 48	10	0	— 5.980
» Sept. 3	1 48	11	0	— 5.914
» Sept. 4	1 2	10	0	— 6.060
» Sept. 6	1 34	9	0	— 5.917
» Sept. 12	1 14	7	0	— 5.893
1880 Juni 29	23 54	9	0	— 6.017
				— 5.963 ± 0.026

18—23 ($\Delta\delta = +2'24''$)

1879 Aug. 21	0 17	9	0	— 5.833
» Sept. 16	0 18	10	0	— 5.835
1880 Juni 27	23 22	10	0	— 5.895
» Juni 29	23 31	10	0	— 5.905
» Juli 17	23 8	11	0	— 5.877
» Juli 21	23 2	12	0	— 5.937
» Aug. 5	23 51	9	— 1	— 5.989
				— 5.896 ± 0.020

19—23 ($\Delta\delta = -3'42''$)

1879 Aug. 19	0 51	11	0	— 5.577
» Sept. 16	0 41	10	0	— 5.630
1880 Juni 27	23 47	10	+ 1	— 5.576
» Juni 29	22 50	10	0	— 5.440
» Juli 17	23 50	12	+ 1	— 5.443
» Juli 21	23 13	12	+ 1	— 5.459
» Aug. 5	23 8	10	+ 1	— 5.491
				— 5.517 ± 0.029

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
	20—23	($\Delta\delta = -1'\,45''$)		
1879 Aug. 21	$0^h\,49^m$	9	0	$-5^s.533$
» Sept. 13	0 38	11	0	-5.455
1880 Juni 27	23 7	10	+1	-5.296
» Juni 29	23 28	8	+1	-5.364
» Juli 6	23 20	9	+1	-5.479
» Juli 17	23 44	12	+1	-5.393
» Aug. 5	23 28	10	+1	-5.456
				$-5.425 \pm 0^s.030$
	21—23	($\Delta\delta = -0'\,31''$)		
1879 Aug. 17	0 48	10	0	-2.930
» Aug. 19	0 51	11	0	-2.927
» Aug. 21	0 17	10	0	-2.880
» Sept. 3	1 48	11	0	-2.877
» Sept. 4	1 2	10	0	-2.995
» Sept. 13	0 38	11	0	-2.860
» Sept. 16	0 18	10	0	-2.860
1880 Juni 27	23 54	9	0	-2.939
» Aug. 5	23 28	10	0	-3.050
				-2.924 ± 0.021
	22—24	($\Delta\delta = -0'\,53''$)		
1879 Sept. 16	0 28	11	0	-6.936
1880 Juni 29	23 20	10	0	-6.850
» Juli 21	23 0	12	0	-6.867
» Aug. 5	23 0	10	0	-6.870
» Aug. 25	23 38	10	0	-6.955
				-6.896 ± 0.022
	22—25	($\Delta\delta = +4'\,8''$)		
1879 Sept. 16	0 28	11	−1	-10.919
1880 Juni 19	23 20	10	−1	-10.899
» Juli 21	23 0	12	−1	-10.853
» Aug. 5	23 0	10	−1	-10.884
» Aug. 25	23 38	10	−2	-10.916
				-10.894 ± 0.011
	24—23	($\Delta\delta = +4'\,0''$)		
1879 Aug. 17	0 48	10	0	$+6.580$
» Aug. 19	0 25	9	0	$+6.429$
» Aug. 21	0 17	10	0	$+6.490$
» Sept. 3	1 48	11	+1	$+6.569$
« Sept. 4	1 2	10	+1	$+6.411$
» Sept. 13	0 38	9	0	$+6.533$
» Sept. 16	0 18	10	0	$+6.540$
				$+6.507 \pm 0.025$

25—23 ($\Delta\delta = -1'\,2''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Aug. 17	$0^h\,48^m$	10	— 1	+ 10.554
» Aug. 19	0 25	10	— 1	+ 10.468
» Aug. 21	0 17	10	— 1	+ 10.489
» Sept. 3	1 48	11	— 1	+ 10.554
» Sept. 4	1 2	10	— 1	+ 10.409
» Sept. 13	0 38	11	— 1	+ 10.549
» Sept. 16	0 18	10	— 1	+ 10.444
» Sept. 16	0 41	10	— 1	+ 10.429
				+ 10.487 ± 0.021

26—23 ($\Delta\delta = -2'\,30''$)

1879 Aug. 19	0 51	11	— 1	+ 11.808
» Sept. 4	0 26	10	— 1	+ 11.924
» Sept. 6	1 34	9	— 2	+ 11.859
» Sept. 12	1 18	7	— 1	+ 11.899
» Sept. 13	0 38	11	— 1	+ 11.976
» Sept. 16	0 41	10	— 1	+ 11.759
				+ 11.871 ± 0.031

27—23 ($\Delta\delta = -5'\,5''$)

1879 Aug. 19	0 51	9	0	+ 13.450
» Aug. 21	0 49	9	0	+ 13.461
» Sept. 6	1 34	9	— 1	+ 13.521
» Sept. 12	1 14	7	0	+ 13.464
» Sept. 13	0 38	11	0	+ 13.509
» Sept. 16	0 41	10	0	+ 13.455
				+ 13.477 ± 0.012

28—23 ($\Delta\delta = -3'\,54''$)

1879 Aug. 17	0 48	9	— 2	+ 20.937
» Aug. 19	0 51	11	— 2	+ 20.966
» Aug. 21	0 17	10	— 1	+ 20.919
» Sept. 6	1 34	9	— 2	+ 20.903
» Sept. 12	1 14	7	— 2	+ 20.812
» Sept. 13	0 38	11	— 1	+ 20.999
» Sept. 16	0 41	10	— 2	+ 20.868
				+ 20.915 ± 0.023

Declinationsdifferenzen 1880.0.

1 — 23 ($\Delta\alpha = -48^s.0$).

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Sept. 23	$1^h 33^m$	48r.4040	I	4	+ 7	+ 147".66 [1]
1880 Aug. 5	1 24	47.9130	I	4	+ 10	+ 148.44
» Aug. 25	23 53	47.7292	I	4	+ 10	+ 145.71
						+ 147.27

2 — 23 ($\Delta\alpha = -43^s.8$)

1880 Juli 21	0 28	50.1865	III	4	+ 7	− 255.62
» Aug. 17	23 53	50.0515	III	4	+ 4	− 256.47
» Aug. 19	0 22	49.9098	III	4	+ 5	− 257.09
» Aug. 28	0 33	50.4125	III	4	+ 9	− 256.16
						− 256.33 ± 0".31

3 — 23 ($\Delta\alpha = -42^s.7$)

1880 Aug. 5	0 48	50.0485	I	4	+ 6	+ 119.86
» Aug. 25	0 1	49.7632	I	4	+ 7	+ 118.50
						+ 119.18

4 — 23 ($\Delta\alpha = -38^s.4$)

1879 Sept. 6	0 51	45.0500	I	4	+ 10	+ 184.22
» Sept. 23	1 50	45.6308	I	4	+ 6	+ 184.71
1880 Aug. 5	0 25	45.1698	I	4	+ 12	+ 185.12
» Aug. 19	0 1	44.9142	I	4	+ 12	+ 183.38
» Aug. 28	0 9	31.3503	II	4	− 6	+ 185.01
						+ 184.49 ± 0.29

5 — 23 ($\Delta\alpha = -37^s.4$)

1879 Sept. 3	0 8	43.9558	II	4	0	+ 13.50
» Sept. 6	0 7	43.7858	II	4	0	+ 13.89
» Sept. 23	1 43	44.3610	II	4	− 1	+ 14.48
1880 Aug. 17	2 21	30.1760	III	4	− 17	+ 14.16
» Aug. 19	23 22	43.6205	II	4	+ 5	+ 13.47
						+ 13.90 ± 0.20

6 — 23 ($\Delta\alpha = -31^s.7$)

1879 Sept. 3	0 16	42.6178	II	4	0	+ 31.38
» Sept. 23	1 24	43.1570	II	4	+ 5	+ 30.63
1880 Aug. 17	23 46	42.4697	II	4	+ 7	+ 31.37
» Aug. 17	2 15	28.9770	III	4	+ 30	+ 30.66
» Aug. 18	1 13	42.2395	II	4	+ 11	+ 31.97
						+ 31.20 ± 0.26

1) Nur sehr schwer sichtbar.

7—23 ($\Delta\alpha = -28^s.5$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Sept. 3	$0^h\ 25^m$	41r.7030	II	4	+ 1	+ 43.″61
» Sept. 6	23 51	41.5092	II	4	+ 4	+ 44.35
» Sept. 23	1 6	42.1310	II	4	+ 7	+ 44.36
1880 Aug. 17	2 0	41.8855	II	4	+ 3	+ 44.31
» Aug. 18	0 0	41.4112	II	4	+ 9	+ 43.02
						+ 43.93 ± 0.″26

8—23 ($\Delta\alpha = -27^s.3$)

1879 Sept. 4	23 56	43.6605	I	4	+ 8	+ 202.18
» Sept. 23	1 13	44.3293	I	4	+ 10	+ 202.15
1880 Juli 21	23 56	43.8710	I	4	+ 9	+ 202.48
» Aug. 17	2 5	30.0058	II	4	— 13	+ 202.90
» Aug. 18	1 8	43.4438	I	4	+ 11	+ 203.01
						+ 202.54 ± 0.19

9—23 ($\Delta\alpha = -19^s.4$)

1879 Sept. 16	0 58	49.7130	II	4	+ 6	— 57.26
1880 Aug. 5	1 15	35.4088	III	4	+ 5	— 58.16
» Aug. 25	0 9	49.0058	II	4	— 2	— 58.55
						— 57.99

10—23 ($\Delta\alpha = -18^s.3$)

1879 Sept. 4	0 4	39.1310	II	4	+ 8	+ 75.57
» Sept. 12	0 53	39.7285	II	4	+ 2	+ 76.27
1880 Aug. 17	1 53	39.5400	II	4	+ 2	+ 75.64
» Aug. 18	0 45	38.9655	II	4	+ 7	+ 75.68
						+ 75.79 ± 0.15

11—23 ($\Delta\alpha = -15^s.5$)

1879 Sept. 4	0 26	56.3873	II	4	+ 20	— 155.30
1880 Juli 21	0 50	56.5182	II	4	+ 23	— 153.97
» Aug. 19	0 8	56.2435	II	4	+ 15	— 155.41
» Aug. 28	0 22	42.8405	III	4	+ 6	— 154.95
						— 154.91 ± 0.25

12—23 ($\Delta\alpha = -12^s.7$)

1879 Sept. 3	1 31	47.2635	III	4	+ 6	— 217.18
» Sept. 12	0 43	47.6937	III	4	+ 10	— 216.70
1880 Aug. 17	0 0	47.0602	III	4	+ 4	— 216.50
» Aug. 18	0 10	46.8975	III	4	+ 4	— 216.84
» Aug. 28	0 39	47.4182	III	4	+ 7	— 216.13
						— 216.67 ± 0.17

13—23 ($\Delta\alpha = -11^s.8$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Sept. 3	$0^h\ 50^m$	44r2472	II	4	+ 3	+ 9″.63
» Sept. 12	0 35	44.7752	II	4	− 2	+ 8.80
1880 Aug. 17	23 36	44.0550	II	4	+ 4	+ 10.16
» Aug. 17	1 16	44.4622	II	4	− 1	+ 9.84
» Aug. 18	0 41	43.8822	II	4	+ 3	+ 9.94
						+ 9.67 ± 0″.24

14—23 ($\Delta\alpha = -9^s.0$)

1879 Sept. 3	0 59	44.7139	II	4	+ 2	+ 3.39
» Sept. 12	0 30	45.1740	II	4	− 2	+ 3.47
1880 Aug. 17	23 32	44.4775	II	4	0	+ 4.48
» Aug. 17	1 32	44.9385	II	4	+ 4	+ 3.52
» Aug. 18	0 37	44.3058	II	4	− 3	+ 4.22
						+ 3.82 ± 0.22

15—23 ($\Delta\alpha = -6^s.6$)

1879 Sept. 4	0 13	40.6810	I	4	+ 11	+ 242.02
» Sept. 23	0 58	41.3202	I	4	+ 13	+ 242.39
1880 Juli 21	23 41	40.8512	I	4	+ 10	+ 242.84
» Aug. 17	1 42	41.0160	I	4	+ 10	+ 243.13
» Aug. 18	0 57	40.4652	I	4	+ 12	+ 242.82
						+ 242.64 ± 0.19

16—23 ($\Delta\alpha = -6^s.0$)

1879 Sept. 4	0 45	65.2595	II	4	+ 55	− 274.21
1880 Juli 21	1 1	51.5895	III	2	+ 19	− 274.49
» Aug. 5	0 32	51.4175	III	4	+ 15	− 272.18
» Aug. 20	23 53	51.1755	III	4	+ 10	− 274.06
» Aug. 28	0 44	51.6556	III	4	+ 20	− 272.87
						− 273.56 ± 0.44

17—23 ($\Delta\alpha = -6^s.0$)

1879 Sept. 3	1 5	48.2433	II	4	0	− 43.79
» Sept. 6	23 59	48.1992	II	4	− 1	− 45.08
» Sept. 12	0 23	48.7822	II	4	+ 4	− 44.77
1880 Aug. 17	1 10	48.5770	II	4	+ 7	− 45.20
» Aug. 18	23 45	47.9232	II	4	0	− 44.09
						− 44.59 ± 0.28

18—23 ($\Delta\alpha = -5^s.9$)

Datum	t	Schraube	F	Z.	d.	B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Sept. 4	$0^h\ 18^m$	48r.0455	I	4			+ 14	+ 143.″64
» Sept. 23	0 45	34.6905	II	4			+ 2	+ 143.73
1880 Juli 21	23 33	34.2908	II	4			+ 5	+ 143.33
» Aug. 17	1 37	34.3992	II	4			+ 3	+ 144.35
» Aug. 18	0 54	33.8462	II	4			+ 2	+ 144.04
								+ 143.82 ± 0.″17

19—23 ($\Delta\alpha = -5^s.6$)

1879 Sept. 4	0 37	61.4382	II	4			+ 40	— 222.99
» Sept. 23	1 57	48.0365	III	4			+ 11	— 221.15
1880 Juli 21	0 39	47.6730	III	4			+ 11	— 222.07
» Aug. 19	0 17	47.3080	III	4			+ 3	— 222.31
» Aug. 28	23 53	47.9135	III	4			+ 10	— 222.77
								— 222.26 ± 0.31

20—23 ($\Delta\alpha = -5^s.4$)

1879 Sept. 4	0 32	52.5027	II	4			+ 10	— 103.29 [1]
» Sept. 23	0 52	53.2367	II	4			+ 11	— 104.21 [2]
1880 Juli 21	23 26	52.8033	II	3			+ 14	— 104.24 [3]
» Aug. 17	1 32	53.1458	II	4			+ 12	— 106.31
» Aug. 19	23 36	52.6380	II	4			+ 11	— 107.19
								— 105.09 ± 0.73

21—23 ($\Delta\alpha = -2^s.9$)

1879 Sept. 3	1 16	47.3715	II	4			0	— 32.14
» Sept. 12	0 17	47.7815	II	4			+ 3	— 31.39
1880 Aug. 17	23 28	47.1370	II	4			— 3	— 31.03
» Aug. 17	0 34	47.5042	II	4			+ 4	— 30.84
» Aug. 18	23 42	46.9958	II	4			— 3	— 31.66
								— 31.21 ± 0.25

22—24 ($\Delta\alpha = -6^s.9$)

1879 Sept. 6	0 58	48.7210	II	4			+ 3	— 52.09
1880 Aug. 5	0 37	48.8852	II	4			+ 3	— 51.80
» Aug. 20	0 1	48.7310	II	4			+ 1	— 54.88
								— 52.92

1) Schlechte Messung.
2) Sehr schwach.
3) Schwer zu messen.

22—25 ($\Delta\alpha = -10^s.9$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1880 Aug. 5	$0^h\,55^m$	40r.4268	I	4	+ 12	+ 248″.50
» Aug. 20	0 6	40.1268	I	4	+ 16	+ 247.39
						+ 247.94

24—23 ($\Delta\alpha = +6^s.5$)

1879 Sept. 3	0 43	48.9875	III	4	+ 12	+ 240.28
» Sept. 6	1 5	48.7502	III	5	+ 12	+ 238.99
» Sept. 12	0 11	49.4392	III	4	+ 13	+ 240.06
1880 Aug. 17	0 28	49.1782	III	4	+ 10	+ 239.69
» Aug. 18	0 5	48.6268	III	4	+ 9	+ 240.00
						+ 239.80 ± 0″.23

25—23 ($\Delta\alpha = +10^s.5$)

1879 Sept. 3	0 33	40.3480	II	4	+ 6	− 61.77
» Sept. 6	1 12	40.1614	II	5	+ 7	− 62.39
» Sept. 12	0 4	40.8072	II	4	0	− 61.84
1880 Aug. 17	0 24	40.5518	II	4	+ 1	− 62.11
» Aug. 18	23 50	40.0342	II	4	+ 8	− 61.41
						− 61.90 ± 0.17

26—23 ($\Delta\alpha = +11^s.9$)

1879 Sept. 6	0 17	47.5560	I	4	+ 6	− 150.70
1880 Juli 21	0 20	47.7920	I	4	+ 4	− 150.04
» Aug. 19	23 43	47.3675	I	4	+ 10	− 150.58
» Aug. 28	0 16	33.9212	II	4	− 6	− 150.66
						− 150.49 ± 0.14

27—23 ($\Delta\alpha = +13^s.5$)

1879 Sept. 6	0 37	36.0670	I	4	+ 11	− 304.27
» Aug. 19	23 51	35.8440	I	4	+ 9	− 304.55
» Aug. 28	0 0	36.3452	I	4	+ 7	− 305.53
						− 304.78

28—23 ($\Delta\alpha = +20^s.9$)

1879 Sept. 6	0 25	41.3290	I	4	+ 15	− 234.00
1880 Juli 21	0 6	41.4840	I	4	+ 12	− 234.41
» Aug. 19	23 28	41.0810	I	4	+ 16	− 234.64
» Aug. 28	23 48	41.6505	I	4	+ 7	− 234.64
						− 234.42 ± 0.14

Grössenschätzungen.

No.	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	$12^{m}.0$	—	$13^{m}.0$	—	—	—	$12^{m}.0$
2	11.0	—	10.5	—	$11^{m}.0$	$11^{m}.0$	10.6
3	12.0	—	13.3	—	—	—	12.3
4	12.0	—	—	—	12.0	—	12.0
5	10.5	—	10.3	—	—	—	10.2
6	10.5	—	10.6	—	11.5	—	10.5
7	10.0	—	10.0	—	—	—	10.0
8	11.0	—	—	—	—	10.8	10.7
9	11.5	—	12.0	—	13.0	—	13.0
10	11.0	—	11.2	—	—	10.8	10.8
11	11.0	$11^{m}.2$	11.0	—	—	—	—
12	10.0	10.0	10.0	—	—	—	9.8
13	10.5	—	10.5	—	—	—	10.0
14	10.5	—	10.5	—	—	—	—
15	9.9	10.8	10.3	—	10.5	10.0	—
16	10.8	11.5	11.5	—	12.0	11.5	11.3
17	10.5	—	10.5	—	—	—	—
18	10.8	11.0	10.8	—	11.0	11.0	10.3
19	11.0	11.3	11.3	—	10.8	10.5	10.2
20	10.8	11.5	11.3	$11^{m}.5$	11.0	11.5	11.2
21	10.5	—	10.5	—	—	—	10.2
22	—	—	12.5	—	—	—	11.8
23	9.0	—	—	—	—	—	—
24	9.5	—	—	—	—	—	—
25	9.2	—	—	—	—	—	—
26	11.0	—	—	—	—	10.5	—
27	11.0	—	—	—	—	—	—
28	9.8	—	—	—	—	9.9	—

Es beziehen sich die Grössen unter

I	auf	1879	Aug.	21
II	»	1880	Juni	27
III	»	»	»	29
IV	»	»	Juli	6
V	»	»	»	17
VI	»	»	»	21
VII	»	»	Aug.	5

Die Schätzungen von 1879 Aug. 21 sind nur ganz rohe.

Ferner finden sich folgende Notirungen:

1880 Juli 21: 1, 3, 16 nur *sehr* schwer zu sehen.

» Aug. 17: 3, 9, 16 nicht oder nur *sehr* schwer zu sehen.

Im Jahre 1876 sind von dem damaligen Beobachter am Meridiankreis, Herrn WEINEK, die Oerter der 3 hellsten Sterne in G.C. 4460 bestimmt worden, der Sterne No. 23, 24, 25. Die erhaltenen Bestimmungen sind auf 1880.0 reducirt die folgenden:

				23			
9^m	18^h	55^m	$45^s.475$	$+11^\circ$	$26'$	$10''.73$	1876.5
			45.525			10.43	1876.6
	18	55	45.500	+ 11	26	10.58	
				24			
9.5	18	55	51.799	+ 11	30	13.88	1876.5
			52.099			11.51	1876.6
			52.009			13.36	1876.6
	18	55	51.909	+ 11	30	12.92	
				25			
8.9	18	55	56.037	+ 11	25	9.00	1876.6
			56.207			8.94	1876.6
	18	55	56.122	+ 11	25	8.97	

Diese Bestimmungen, welche vom Beobachter auch in den Astronomischen Nachrichten (Bd. 90 S. 203) mit denen anderer Sterne veröffentlicht worden sind, habe ich ursprünglich meinen Ausmessungen zu Grunde gelegt. Nachdem neuerdings die alten Leipziger Zonen im Wesentlichen in ihrer Reduction beendet sind, habe ich auch diesen vorhandene Bestimmungen entnommen. Es sind dies, ebenfalls auf 1880.0 reducirt, die folgenden:

				23			
8.7	18^h	55^m	$45^s.7$	$+11^\circ$	$26'$	$15''.3$	1869.5
8.8			45.66			17.1	1870.5
	18	55	45.66	+ 11	26	16.2	
				25			
8.7	18	55	56.1	+ 11	25	13.9	1869.5
8.9			56.13			13.3	1870.5
	18	55	56.13	+ 11	25	13.0	

Die AR. der Epoche 1869.5 sind nur genäherte, da die Reductionselemente nicht genügend gesichert sind.

Während die Uebereinstimmung der Rectascensionen zwischen den WEINEK'schen und ENGELMANN'schen Bestimmungen eine sehr gute ist, weichen die Declinationen um 5″.6 resp. 4″.6 von einander ab, also um Beträge, welche nicht durch zufällige Beobachtungsfehler zu erklären sind, um so weniger, als jede Position auf 2 Bestimmungen beruht. Eine Revision der Zonenbeobachtungen hat keinen Fehler auffinden lassen. Dieses war auch schon deswegen weniger zu vermuthen, als die beiden um ein Jahr auseinander liegenden Einzelbeobachtungen genügend mit einander übereinstimmen. Eine Revision der WEINEK'schen Reductionen ergab, dass an die direct aus den Kreisablesungen abgeleiteten Werthe zuletzt noch eine als »Reduction auf dunkle Fäden« bezeichnete Correction im Betrag von — 3″.32 angebracht ist. Muthmasslich ist diese Correction mit falschem Vorzeichen in Rechnung gestellt worden; da ich die Beobachtungen, auf welchen diese Reduction basirt, nicht habe auffinden können, habe ich die Declinationen der Meridiankreisbeobachtungen vom Jahre 1876 ganz vernachlässigt und nur die Rectascensionen derselben und die in den alten Zonen vorhandenen Bestimmungen zu Grunde gelegt. Eine weiterhin aufgeführte Bestimmung des Sternes 25 von LAMONT bestätigt die von ENGELMANN beobachtete Declination vollkommen und rechtfertigt das von mir befolgte Verfahren.

Giebt man jeder Einzelbestimmung gleiches Gewicht, so erhält man:

No.	Mittlere Oerter 1880.0		
23	$18^h\ 55^m\ 45^s.55$	$+ 11^\circ\ 26'$	16″.2
24	51.97	30	—
25	56.12	25	13.6

Reducirt man mit Hilfe der mikrometrischen Bestimmungen auch die Sterne 24 und 25 auf den Hauptstern 23, so ergeben sich im Ganzen für die Position des letzteren folgende Werthe:

23			
$18^h\ 55^m\ 45^s.55$	$+ 11^\circ\ 26'$	16″.2
45.46		—
45.63		15.5
18 55 45.55	+ 11 26	15.8

Das beigefügte Mittel ist als Position des Hauptsternes angenommen worden. Die absoluten Positionen der übrigen Sterne gehen

hieraus unmittelbar durch Anbringung der Grössen $\Delta\alpha$ und $\Delta\delta$ hervor. Für alle Sterne mit Ausnahme von No. 22 sind diese Grössen inbezug auf den Hauptstern direct bestimmt worden, 22 ist durch Vermittlung der Sterne 24 und 25 mit dem Hauptstern verbunden. Für seine Coordinaten inbezug auf letzteren ergiebt sich

	22—23	
aus 24	$-0^s.389$	$+3'\ 6''.88$
aus 25	-0.407	$+3\ 6.04$
	-0.398	$+3\ 6.46$

Die Resultate der Ausmessung stellen sich sonach dar wie folgt:

No.	Gr.	$\Delta\alpha$ 1880.0	$\Delta\delta$ 1880.0	Z. d. B.	AR. 1880.0	Decl. 1880.0
1	12.5	$-48^s.017$	$+2'\ 27''.27$	6.3	$18^h\ 54^m\ 57^s.53$	$+11^\circ\ 28'\ 43''.1$
2	10.8	-43.838	$-4\ 16.33$	5.5	$55\ 1.71$	$21\ 59.4$
3	12.8	-42.668	$+1\ 59.18$	6.2	2.88	$28\ 15.0$
4	12.0	-38.401	$+3\ 4.49$	6.5	7.15	$29\ 20.3$
5	10.2	-37.424	$+0\ 13.90$	7.5	8.13	$26\ 29.7$
6	10.9	-31.702	$+0\ 31.20$	9.5	13.85	$26\ 47.0$
7	10.0	-28.538	$+0\ 43.93$	7.5	17.01	$26\ 59.7$
8	10.7	-27.332	$+3\ 22.54$	8.5	18.22	$29\ 38.3$
9	12.7	-19.390	$-0\ 57.99$	7.3	26.16	$25\ 17.8$
10	10.9	-18.265	$+1\ 15.79$	7.4	27.28	$27\ 31.6$
11	11.1	-15.479	$-2\ 34.91$	7.4	30.07	$23\ 40.9$
12	9.9	-12.665	$-3\ 36.67$	8.5	32.89	$22\ 39.1$
13	10.2	-11.825	$+0\ 9.67$	8.5	33.73	$26\ 25.5$
14	10.5	-9.004	$+0\ 3.82$	8.5	36.55	$26\ 19.6$
15	10.4	-6.574	$+4\ 2.64$	6.5	38.98	$30\ 18.4$
16	11.6	-5.976	$-4\ 33.56$	5.5	39.57	$21\ 42.2$
17	10.5	-5.963	$-0\ 44.59$	6.5	39.59	$25\ 31.2$
18	10.8	-5.896	$+2\ 23.82$	7.5	39.65	$28\ 39.6$
19	10.8	-5.517	$-3\ 42.26$	7.5	40.03	$22\ 33.5$
20	11.3	-5.425	$-1\ 45.09$	7.5	40.12	$24\ 30.7$
21	10.3	-2.924	$-0\ 31.21$	9.5	42.63	$25\ 44.6$
22	12.1	-0.398	$+3\ 6.46$	10.5	45.15	$29\ 22.3$
23	9.0	0.000	$0\ 0.00$	—	45.55	$26\ 15.8$
24	9.5	$+6.507$	$+3\ 59.80$	7.5	52.06	$30\ 15.6$
25	9.2	$+10.487$	$-1\ 1.90$	8.5	56.04	$25\ 13.9$
26	10.5	$+11.871$	$-2\ 30.49$	6.4	57.42	$23\ 45.3$
27	11.0	$+13.477$	$-5\ 4.78$	6.3	$55\ 59.03$	$21\ 11.0$
28	9.9	$+20.915$	$-3\ 54.42$	7.4	$18\ 56\ 6.46$	$+11\ 22\ 21.4$

Innerhalb des Sternhaufens G. C. 4460 sind noch mehrere Objecte vorhanden, welche für das Leipziger Instrument dicht an der Grenze der Sichtbarkeit liegen und nur bei sehr guter Luft, aber oft auch

dann nur zuweilen sichtbar werden. Nur von einem Objecte 13. Gr., das südlich ganz nahe bei 3 steht, gelangen die nachstehenden Messungen von $\Delta\alpha$:

29—23

1880	Juni	27	$23^h\ 53^m$	10	$+ 5^s.645$
»	Juni	29	22 50	10	+ 5.705
»	Juli	6	0 40	9	+ 5.672
»	Aug.	5	23 28	10	+ 5.680
					+ 5.675

Von einigen anderen Objecten konnten die nachstehenden genäherten Coordinaten erlangt werden, die nur auf wenigen α-Durchgängen und 1 bis 2 δ-Einstellungen beruhen und von denen daher keine Details angeführt werden:

30—23

14^m $\quad \Delta\alpha = + 3^s.2 \qquad \Delta\delta = - 0'\ 1''$ (geschätzt)

31—23

13 $\quad \Delta\alpha = + 0.4 \qquad \Delta\delta = - 3\ 32$

32—23

13 $\quad \Delta\alpha = + 2.4 \qquad \Delta\delta = - 3\ 8$

33—23

13 $\quad \Delta\alpha = + 8.5 \qquad \Delta\delta = - 3\ 30$

34—23

13 $\quad \Delta\alpha = + 9.1 \qquad \Delta\delta = - 4\ 32$

Schliesslich sei noch bemerkt, dass sich 1880 Juni 29 im Beobachtungsbuche die Notiz findet: »Stern 3 erscheint länglich, resp. nebelig geschwänzt zu sein. Eventuell stehen 3 Sternchen in einer Geraden dicht beisammen.«

Ausser 25 findet sich kein Stern in einem der Cataloge vor. No. 25 findet sich bei LAMONT unter No. 1210 als 9.—10. Grösse angegeben. Auf 1880.0 reducirt ist seine Catalogposition:

$18^h\ 55^m\ 56^s.19 \qquad + 11^\circ\ 25'\ 13''.0$.

Diese Angabe stimmt befriedigend mit dem Resultate der mikrometrischen Ausmessung überein.

§ 8.

Ausmessung des Sternhaufens G. C. 1440 (h 401).

Es ist dies der Sternhaufen bei 15 Monocerotis, von Herschel mit »15 Monoc.; Cluster; double star; ? neb.« beschrieben. Vogel (Publicationen der Leipziger Sternwarte) hat am 7. Dec. 1869 über dieses Object folgendes notirt:

»Etwa 30 meist hellere Sterne im Sehfelde der 96fach. Vergr. Doppelstern 5. Grösse, etwas der Mitte des Sternhaufens folgend mit deutlicher Nebelhülle. Mitte des Sternhaufens: AR. $6^h\ 33^m\ 33^s$; Decl. $+\ 9°\ 59'$ (1870.0). Dem Sternhaufen 1440 gehen noch 2 nicht weniger beträchtliche Sternanhäufungen voraus.«

Den Nebel um 15 Monoc. hat Vogel mehrere Male gesehen und beschreibt ihn 1869 Jan. 11 als eine sehr schwache, ziemlich grosse unregelmässig gestaltete Nebelhülle um den Doppelstern 5. Grösse. Von anderen Beobachtern ist der Nebel gar nicht wahrgenommen (Lord Rosse) oder nur mit grösserer oder geringerer Sicherheit vermuthet worden (d'Arrest).

Nach meinen eigenen Wahrnehmungen ist der Nebel sicher vorhanden; um ihn deutlich erkennen zu können, ist aber immerhin eine gut durchsichtige, mondfreie Nacht nothwendig; auch ist jedenfalls d'Arrest's Bemerkung häufig zutreffend, dass der Glanz des hellen Sternes den Nebel völlig überstrahlt. Unter den Witterungsübersichten (»Bemerkungen« pag. 37) habe ich in den Nächten, in welchen ich G. C. 1440 ausmass, häufig die Sichtbarkeitsverhältnisse des Nebels (mit *N* bezeichnet) notirt, da diese einen guten Massstab für die Güte der Luft abgaben. Der Buchstabe *M* an der nämlichen Stelle bezieht sich auf 15 Monocerotis und seine beiden Begleiter (Stern 20 und 22).

In diesem Sternhaufen sind im Ganzen 44 Sterne zur Ausmessung herangezogen worden. 15 Monocerotis selbst (Stern 21) mit als Hauptstern zu verwenden ging seiner grossen Helligkeit wegen

nicht gut an und würde sowohl die Genauigkeit wie auch die leichte Ausführung der Messungen in vielen Fällen wesentlich beeinträchtigt haben. Da der Sternhaufen in Declination eine Ausdehnung von nahezu 14′ hat, empfahl es sich, nicht alle Sterne mit einem und dem nämlichen Hauptsterne zu vergleichen, sondern deren mindestens 2 anzunehmen. Demgemäss sind die einzelnen Sterne auf die beiden Hauptsterne 2 und 25 bezogen worden. 20 Sterne wurden in α und δ mit 2, 26 in α und 25 in δ mit 25 verglichen; von diesen sind 8 in α und δ den beiden Hauptsternen gemeinsam und liefern ein gutes Material für die relativen Coordinaten beider zu einander. Ausserdem wurden beide unabhängig davon noch direct mit einander verglichen. 4 von den südlichsten Sternen wurden an Stern 9 angeschlossen, 2 an Stern 24 und 1 Stern an 7. Die Positionen dieser 3 Nebensterne erscheinen durch ihren Anschluss an die Hauptsterne als mit genügender Sicherheit bestimmt. Da für einen möglichst sicheren Anschluss des Hauptsternes 25 an 15 Monocerotis gesorgt worden ist, ist man in der Lage, schliesslich Alles auf die Position dieses Fundamentalsternes zu beziehen.

Es lag ursprünglich in meiner Absicht, ähnlich wie ich es bei der Gruppe zerstreuter Sterne gethan habe, alle innerhalb des durch die Grenzsterne bestimmten Polygones vorhandenen Sterne zur Messung heranzuziehen; die genaue Durchführung dieses Planes würde die Arbeit aber ganz unverhältnissmässig vergrössert haben. Manche von den schwächsten Sternchen zu vermessen ist mir auch nur an einem einzigen Abende gelungen; an anderen Abenden waren sie entweder überhaupt gar nicht wahrzunehmen oder so lichtschwach, dass sie auch nicht die allergeringste Fädenbeleuchtung vertrugen. Speciell erwähnen muss ich hier, dass Stern 40 ein Doppelstern ist, von welchem ich nur die helle Componente mit den Hauptsternen verglichen habe. Der Begleiter floss sehr häufig mit dem Hauptsterne zusammen und erschwerte die Messung beträchtlich. Da der Positionswinkel nicht viel von 0° abweicht, machte sich dies namentlich bei den Declinationsbestimmungen bemerklich. In Ermangelung eines Uhrwerkes hielt ich es für unthunlich die Position des Begleiters zu bestimmen, da sich dieselbe durch Messung von $\Delta\alpha$ und $\Delta\delta$ nach Lage der Verhältnisse doch nur unsicher würde ergeben haben.

Rectascensionsdifferenzen 1880.0.

1—2 ($\Delta\delta = -2'\,57''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Sept. 12	$19^h\ 25^m$	10	+ 2	− 3ˢ.672
» Oct. 24	20 8	11	+ 2	− 3.707
» Nov. 7	22 12	7	+ 2	− 3.723
» Nov. 9	23 15	10	+ 2	− 3.687
1880 Jan. 27	22 15	9	0	− 3.737
» Febr. 2	0 37	10	+ 1	− 3.596
» Febr. 5	0 38	10	0	− 3.690
1881 Dec. 10	22 54	10	+ 1	− 3.531
1882 Febr. 1	0 37	9	− 2	− 3.759
» Febr. 10	2 2	7	− 2	− 3.713
» Febr. 12	23 43	10	− 2	− 3.628
				− 3.677 ± 0ˢ.020

3—2 ($\Delta\delta = -1'\,41''$)

1882 Febr. 10	1 43	11	+ 1	+ 8.168
» Febr. 11	23 51	11	+ 1	+ 8.172
» Febr. 13	23 39	9	+ 1	+ 8.034
				+ 8.125

5—2 ($\Delta\delta = -1'\,33''$)

1882 Jan. 16	23 47	9	+ 1	+ 8.912
» Febr. 1	22 34	11	+ 1	+ 8.719
» Febr. 1	0 37	9	+ 1	+ 8.862
» Febr. 10	2 2	7	+ 1	+ 8.730
» Febr. 11	23 51	11	+ 1	+ 8.846
» Febr. 12	23 43	10	+ 1	+ 8.835
» Febr. 13	23 39	9	+ 1	+ 8.820
				+ 8.818 ± 0.027

7—2 ($\Delta\delta = -1'\,47''$)

1879 Sept. 12	19 25	10	+ 1	+ 9.891
» Oct. 24	20 8	11	+ 1	+ 9.819
» Nov. 7	22 12	7	+ 1	+ 9.851
» Nov. 9	23 15	10	+ 1	+ 9.896
1880 Jan. 27	22 15	8	− 1	+ 9.888
» Febr. 2	0 37	11	0	+ 9.932
» Febr. 5	0 38	10	0	+ 9.895
1881 Dec. 10	22 54	10	+ 2	+ 9.967
1882 Febr. 1	0 37	9	+ 1	+ 9.845
» Febr. 10	1 43	11	0	+ 9.867
» Febr. 12	23 43	10	0	+ 9.962
				+ 9.892 ± 0.014

9—2 ($\Delta\delta = -3'\,0''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Sept. 12	$19^h\ 25^m$	10	+ 1	+ 14.771
» Oct. 24	20 8	11	+ 2	+ 14.788
» Nov. 7	22 12	7	+ 1	+ 14.787
» Nov. 9	23 15	10	+ 1	+ 14.836
1880 Jan. 27	22 15	8	− 1	+ 14.793
» Febr. 2	0 37	11	0	+ 14.891
» Febr. 5	0 38	10	− 1	+ 14.829
1881 Dec. 10	22 54	10	+ 2	+ 14.877
1882 Febr. 1	0 37	9	+ 3	+ 14.792
» Febr. 10	1 43	11	+ 2	+ 14.764
» Febr. 12	23 43	10	+ 2	+ 14.894
				+ 14.820 ± 0.014

10—2 ($\Delta\delta = -1'\,1''$)

1882 Jan. 16	23 47	9	0	+ 16.178
» Febr. 1	22 34	11	0	+ 16.041
» Febr. 10	2 2	6	0	+ 16.062
» Febr. 11	23 51	10	0	+ 16.072
» Febr. 13	23 39	9	0	+ 16.106
				+ 16.092 ± 0.024

11—2 ($\Delta\delta = +0'\,14''$)

1882 Jan. 16	23 47	9	− 1	+ 17.516
» Febr. 1	22 34	11	− 1	+ 17.439
» Febr. 1	0 37	7	− 1	+ 17.692
» Febr. 10	2 2	7	− 1	+ 17.513
» Febr. 11	23 51	10	− 1	+ 17.580
» Febr. 13	23 39	9	− 1	+ 17.421
				+ 17.527 ± 0.040

13—2 ($\Delta\delta = +2'\,44''$)

1879 Nov. 7	22 12	6	+ 1	+ 20.159
» Nov. 9	23 15	10	+ 1	+ 20.186
1880 Jan. 27	23 32	7	− 1	+ 20.156
» Febr. 5	0 38	10	− 1	+ 20.254
1881 Dec. 10	22 34	10	− 1	+ 20.269
1882 Febr. 1	0 27	9	− 3	+ 20.175
» Febr. 12	23 43	10	− 3	+ 20.208
				+ 20.201 ± 0.017

15—2 ($\Delta\delta = +2'\,49''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Nov. 7	$22^h\ 12^m$	7	+ 1	+ 22^s.822
» Nov. 9	23 15	10	+ 1	+ 22.856
1880 Jan. 27	23 32	7	— 1	+ 22.820
» Febr. 2	0 37	10	— 1	+ 22.934
» Febr. 5	0 38	10	— 1	+ 22.839
1881 Dec. 10	22 34	10	— 1	+ 22.904
1882 Febr. 1	0 37	9	— 3	+ 22.914
» Febr. 12	23 43	10	— 3	+ 22.796
				+ 22.861 ± 0^s.017

19—2 ($\Delta\delta = -\,0'\,19''$)

1882 Jan. 16	23 47	9	— 1	+ 28.566
» Febr. 1	22 34	11	— 2	+ 28.480
» Febr. 10	2 2	7	— 2	+ 28.408
» Febr. 11	23 51	10	— 2	+ 28.523
» Febr. 13	23 39	9	— 2	+ 28.476
				+ 28.491 ± 0.025

24—2 ($\Delta\delta = +3'\,19''$)

1879 Nov. 7	22 12	6	+ 3	+ 31.186
» Nov. 9	23 15	10	+ 3	+ 31.328
1880 Jan. 27	23 32	7	— 6	+ 31.330
» Febr. 5	0 38	10	— 3	+ 31.322
1881 Dec. 10	22 34	10	— 2	+ 31.373
1882 Febr. 1	0 37	9	— 4	+ 31.252
» Febr. 12	23 43	10	— 5	+ 31.435
				+ 31.318 ± 0.030

28—2 ($\Delta\delta = -\,1'\,5''$)

1882 Jan. 16	23 47	9	0	+ 34.655
» Febr. 1	22 34	11	0	+ 34.591
» Febr. 10	2 2	7	— 1	+ 34.555
» Febr. 11	23 51	10	— 1	+ 34.600
» Febr. 13	23 39	9	— 1	+ 34.605
				+ 34.601 ± 0.016

32—2 ($\Delta\delta = -\,2'\,58''$)

1882 Jan. 16	23 47	9	+ 1	+ 40.768
» Febr. 1	22 34	8	0	+ 40.669
» Febr. 10	2 2	7	0	+ 40.503
» Febr. 11	23 51	9	0	+ 40.574
» Febr. 13	23 39	8	0	+ 40.669
				+ 40.637 ± 0.044

33—2 ($\Delta\delta = +4'\,5''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Nov. 9	$23^h\ 15^m$	10	+ 2	+ 41.597
1880 Jan. 27	23 32	7	— 4	+ 41.612
» Febr. 5	0 38	9	— 4	+ 41.635
1881 Dec. 10	22 34	10	— 4	+ 41.586
1882 Febr. 1	0 37	9	— 6	+ 41.604
» Febr. 12	23 43	10	— 7	+ 41.677
				+ 41.618 ± 0.013

34—2 ($\Delta\delta = +3'\,59''$)

1879 Nov. 9	23 15	8	+ 3	+ 42.653
1880 Jan. 27	23 32	7	— 6	+ 42.685
» Febr. 5	0 38	10	— 2	+ 42.613
1881 Dec. 10	22 34	10	— 5	+ 42.615
1882 Febr. 1	0 37	9	— 6	+ 42.611
» Febr. 12	23 43	10	— 7	+ 42.607
				+ 42.631 ± 0.012

38—2 ($\Delta\delta = -5'\,3''$)

1879 Sept. 12	19 25	9	+ 4	+ 53.732
» Oct. 24	20 8	11	+ 7	+ 53.675
» Nov. 7	22 12	7	+ 4	+ 53.747
» Nov. 9	23 15	10	+ 4	+ 53.734
1880 Jan. 27	22 15	9	— 3	+ 53.708
» Febr. 2	0 37	9	— 2	+ 53.898
» Febr. 5	0 38	10	— 2	+ 53.731
1881 Dec. 10	22 54	10	+ 7	+ 53.742
1882 Febr. 10	2 2	6	+ 1	+ 53.727
» Febr. 12	23 43	10	+ 1	+ 53.788
				+ 53.748 ± 0.019

39—2 ($\Delta\delta = +2'\,20''$)

1879 Nov. 7	22 12	7	+ 3	+ 58.560
» Nov. 9	23 15	10	+ 3	+ 58.603
1880 Jan. 27	23 32	7	— 5	+ 58.666
» Febr. 2	0 37	10	— 5	+ 58.630
» Febr. 5	0 38	10	— 4	+ 58.611
1882 Febr. 1	0 37	9	— 5	+ 58.578
» Febr. 12	23 43	10	— 6	+ 58.662
				+ 58.616 ± 0.016

40—2 ($\Delta\delta = +\,0'\,54''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Sept. 12	$19^h\ 25^m$	9	+ 5	+ 61.527
» Oct. 24	20 8	11	+ 9	+ 61.523
» Nov. 7	22 12	7	+ 4	+ 61.375
» Nov. 9	23 15	10	+ 4	+ 61.469
1880 Jan. 27	22 15	9	— 4	+ 61.440
» Jan. 27	23 32	7	— 4	+ 61.546
» Febr. 2	0 37	9	— 4	+ 61.585
» Febr. 5	0 38	10	— 4	+ 61.536
1882 Febr. 1	0 37	9	— 3	+ 61.475
» Febr. 12	23 43	10	— 6	+ 61.535
				+ 61.501 ± 0.019

43—2 ($\Delta\delta = +\,2'\,45''$)

1879 Nov. 7	22 12	7	+ 4	+ 65.883
» Nov. 9	23 15	10	+ 4	+ 65.954
1880 Jan. 27	23 32	7	— 4	+ 66.032
» Febr. 2	0 37	8	— 5	+ 66.010
» Febr. 5	0 38	10	— 3	+ 65.972
1882 Febr. 1	0 37	9	— 4	+ 65.996
» Febr. 12	23 43	10	— 8	+ 65.972
				+ 65.974 ± 0.018

44—2 ($\Delta\delta = -\,1'\,15''$)

1879 Sept. 12	19 25	10	+ 6	+ 73.576
» Oct. 24	20 8	11	+ 9	+ 73.586
1880 Jan. 27	22 15	10	— 5	+ 73.645
» Febr. 2	0 37	8	— 4	+ 73.733
» Febr. 5	0 38	10	— 3	+ 73.587
1881 Dec. 10	22 54	10	+ 3	+ 73.653
1882 Febr. 1	0 37	9	— 1	+ 73.671
» Febr. 12	23 43	10	— 4	+ 73.679
				+ 73.642 ± 0.019

12—9 ($\Delta\delta = +\,0'\,3''$)

1882 Jan. 17	23 45	10	0	+ 3.835
» Febr. 10	1 51	12	0	+ 3.796
» Febr. 11	0 4	9	0	+ 3.859
» Febr. 13	22 58	13	0	+ 3.765
				+ 3.814 ± 0.020

16—9 ($\Delta\delta = -\,1'\,15''$)

1882 Jan. 17	23 45	10	+ 1	+ 8.161
» Febr. 1	0 12	14	+ 1	+ 8.208
» Febr. 10	1 51	12	0	+ 8.092
» Febr. 11	0 4	10	+ 1	+ 8.225
» Febr. 13	22 58	13	+ 1	+ 8.189
				+ 8.175 ± 0.022

17—9 ($\Delta\delta = +1'\,11''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1882 Jan. 17	$23^h\ 45^m$	10	− 1	+ 11ˢ.319
» Febr. 10	1 51	12	− 1	+ 11.084
» Febr. 11	0 4	9	− 1	+ 10.978
» Febr. 13	22 58	12	− 1	+ 11.041
				+ 11.105 ± 0ˢ.073

31—9 ($\Delta\delta = -1'\,56''$)

1882 Jan. 17	23 45	10	0	+ 24.945
» Febr. 10	1 51	12	− 1	+ 24.792
» Febr. 11	0 4	9	− 1	+ 24.836
» Febr. 13	22 58	13	− 1	+ 24.741
				+ 24.828 ± 0.045

26—24 ($\Delta\delta = +0'\,34''$)

1882 Jan. 17	23 20	14	0	+ 2.003
» Febr. 10	0 53	22	0	+ 1.995
				+ 1.999

27—24 ($\Delta\delta = -0'\,26''$)

1882 Jan. 17	23 15	15	0	+ 2.243
» Febr. 10	1 19	20	0	+ 2.243
» Febr. 13	22 48	18	0	+ 2.355
				+ 2.280

2—25 ($\Delta\delta = -3'\,49''$)

1879 Nov. 3	21 44	11	+ 1	− 33.166
» Nov. 7	22 12	6	+ 1	− 33.076
» Nov. 9	23 15	10	+ 1	− 33.111
1880 Jan. 27	22 37	11	− 3	− 33.129
» Jan. 27	23 32	7	− 3	− 33.154
» Febr. 2	0 37	10	− 3	− 33.217
» Febr. 5	0 11	10	− 3	− 33.187
» Febr. 5	0 38	10	− 3	− 33.142
» Febr 9	0 14	11	− 3	− 33.133
1881 Dec. 10	1 26	10	− 2	− 33.158
1882 Febr. 1	0 37	9	− 4	− 33.190
» Febr. 12	23 43	10	− 4	− 33.140
» Febr. 13	0 12	15	− 4	− 33.196
				− 33.153 ± 0.010

4—25 ($\Delta\delta = +2'\,5''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1882 Jan. 14	$21^h\ 11^m$	10	+ 1	— 24^s.361
» Jan. 17	22 21	10	+ 1	— 24.461
» Febr. 10	0 35	12	0	— 24.542
» Febr. 11	23 1	12	0	— 24.543
» Febr. 13	22 31	12	0	— 24.517
				— 24.485 ± 0^s.033

6—25 ($\Delta\delta = +4'\,54''$)

1882 Jan. 14	21 33	9	+ 3	— 23.742
» Febr. 1	23 0	13	+ 3	— 23.788
» Febr. 10	1 27	10	+ 3	— 23.868
» Febr. 11	23 18	15	+ 3	— 23.730
» Febr. 13	0 0	10	+ 3	— 23.683
				— 23.762 ± 0.030

8—25 ($\Delta\delta = +1'\,23''$)

1882 Jan. 17	22 51	9	0	— 20.500
» Febr. 10	0 35	12	0	— 20.470
» Febr. 11	23 10	5	0	— 20.661
» Febr. 13	22 31	12	0	— 20.492
				— 20.531 ± 0.044

13—25 ($\Delta\delta = -1'\,6''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	+ 1	— 12.988
» Oct. 24	20 17	10	+ 2	— 12.957
» Nov. 3	21 44	11	+ 1	— 13.000
1880 Jan. 27	22 37	11	— 1	— 12.919
» Febr. 5	0 11	10	— 1	— 12.984
» Febr. 9	0 14	11	— 1	— 12.967
1881 Dec. 10	22 16	11	0	— 12.940
1882 Febr. 1	23 24	11	— 2	— 12.980
» Febr. 10	1 27	10	— 2	— 13.010
» Febr. 13	0 0	10	— 2	— 12.958
				— 12.970 ± 0.009

14—25 ($\Delta\delta = +0'\,32''$)

1882 Jan. 14	21 11	10	0	— 12.395
» Jan. 14	21 33	10	0	— 12.381
» Jan. 17	22 21	10	0	— 12.305
» Febr. 1	23 0	13	— 1	— 12.276
» Febr. 10	0 35	12	— 1	— 12.376
» Febr. 11	23 1	12	— 1	— 12.373
» Febr. 13	22 31	12	— 1	— 12.366
				— 12.353 ± 0.017

15—25 ($\Delta\delta = -1'\,0''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Sept. 12	$19^h\ 51^m$	8	— 1	— $10^s.349$
» Oct. 24	20 17	10	— 1	— 10.334
» Nov. 3	21 44	11	— 1	— 10.294
1880 Jan. 27	22 37	11	— 1	— 10.354
» Febr. 5	0 11	11	— 1	— 10 274
» Febr. 9	0 14	11	— 1	— 10.317
1881 Dec. 10	22 16	11	0	— 10.300
1882 Febr. 1	23 24	11	— 1	— 10.308
» Febr. 10	1 27	10	— 2	— 10.314
» Febr. 13	0 0	10	— 2	— 10.293
				— $10.314 \pm 0^s.008$

18—25 ($\Delta\delta = +1'\,20''$)

1882 Jan. 17	22 21	9	+ 1	— 5.207
» Febr. 1	23 48	14	+ 1	— 5.387
» Febr. 10	0 35	10	+ 1	— 5.284
» Febr. 11	23 10	4	+ 1	— 5.391
» Febr. 13	22 31	12	+ 1	— 5.328
				— 5.319 ± 0.041

20—25 ($\Delta\delta = +0'\,53''$)

1882 Jan. 16	22 29	13	+ 1	— 3.435
» Febr. 10	1 27	9	+ 1	— 3.423
» Febr. 10	0 58	19	+ 1	— 3.405
» Febr. 11	22 41	27	+ 1	— 3.435
» Febr. 13	23 16	27	+ 1	— 3.423
				— 3.424 ± 0.005

21—25 ($\Delta\delta = +0'\,56''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	— 1	— 3.349
» Oct. 24	20 17	10	— 1	— 3.289
» Nov. 7	21 46	11	— 1	— 3.335
1880 Jan. 27	22 37	11	0	— 3.368
» Febr. 2	0 37	9	0	— 3.433
» Febr. 5	0 22	10	0	— 3.350
» Febr. 9	0 2	15	0	— 3.340
» März 12	0 23	12	0	— 3.375
1882 Febr. 1	23 0	13	+ 2	— 3.360
» Febr. 1	23 33	30	+ 2	— 3.377
» Febr. 10	1 3	25	+ 2	— 3.332
» Febr. 11	22 47	27	+ 2	— 3.334
» Febr. 13	23 10	25	+ 2	— 3.283
				— 3.348 ± 0.010

22—25 ($\Delta\delta = +1' 12''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1882 Jan. 16	$22^h\ 48^m$	16	+ 1	— 2^s.995
» Febr. 1	22 34	21	+ 1	— 3.039
» Febr. 10	0 35	12	+ 1	— 3.011
» Febr. 10	1 8	17	+ 1	— 2.986
» Febr. 11	23 10	5	+ 1	— 3.102
» Febr. 13	22 31	11	+ 1	— 3.022
» Febr. 13	23 24	23	+ 1	— 3.038
				— 3.028 ± 0^s.014

23—25 ($\Delta\delta = +2' 30''$)

1882 Jan. 17	22 21	10	+ 3	— 2.583
» Febr. 10	1 13	21	+ 3	— 2.576
» Febr. 11	23 40	11	+ 3	— 2.589
» Febr. 13	23 30	19	+ 3	— 2.664
				— 2.603 ± 0.020

24—25 ($\Delta\delta = -0' 30''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	0	— 1.786
» Oct. 24	20 17	10	0	— 1.800
» Nov. 3	21 44	11	0	— 1.855
1880 Jan. 27	23 14	10	0	— 1.875
» Febr. 5	0 11	10	0	— 1.810
» Febr. 9	0 14	11	0	— 1.850
1881 Dec. 10	22 16	11	0	— 1.891
1882 Jan. 14	21 33	9	0	— 1.833
» Febr. 1	23 24	11	0	— 1.845
» Febr. 10	1 27	9	0	— 1.817
» Febr. 13	0 0	10	0	— 1.845
				— 1.837 ± 0.010

29—25 ($\Delta\delta = +1' 56''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	0	+ 2.681
» Nov. 7	21 46	11	0	+ 2.614
1880 Jan. 27	22 37	11	0	+ 2.664
» Febr. 5	0 22	10	0	+ 2.640
» Febr. 9	0 2	15	0	+ 2.603
» März 12	0 23	12	— 1	+ 2.626
1882 Jan. 14	21 21	10	— 2	+ 2.598
» Jan. 17	22 21	10	— 2	+ 2.603
» Febr. 1	23 0	13	— 2	+ 2.617
» Febr. 13	0 0	10	— 2	+ 2.603
				+ 2.625 ± 0.009

3c—25 ($\Delta\delta = -0'\,58''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1882 Jan. 16	$23^h\ 57^m$	10	+ 1	+ $2^s.706$
» Jan. 17	22 51	9	+ 1	+ 2.706
» Febr. 10	0 35	12	+ 1	+ 2.791
» Febr. 11	23 10	4	+ 1	+ 2.691
» Febr. 11	23 40	11	+ 1	+ 2.793
» Febr. 13	22 31	12	+ 1	+ 2.763
				+ 2.742 ± $0^s.019$

33—25 ($\Delta\delta = +0'\,15''$)

1879 Sept. 12	19 51	7	+ 1	+ 8.458
» Oct. 24	20 17	9	+ 1	+ 8.446
» Nov. 3	21 34	10	+ 1	+ 8.451
» Nov. 7	21 36	11	+ 1	+ 8.497
1880 Jan. 27	23 14	10	− 1	+ 8.504
» Febr. 5	0 11	9	0	+ 8.455
» Febr. 9	0 14	9	0	+ 8.444
1882 Jan. 14	21 33	9	0	+ 8.333
» Febr. 1	23 0	13	0	+ 8.465
» Febr. 13	0 0	10	− 1	+ 8.499
				+ 8.455 ± 0.015

34—25 ($\Delta\delta = +0'\,9''$)

1879 Oct. 24	20 17	9	+ 1	+ 9.473
» Nov. 3	21 44	11	+ 1	+ 9.401
» Nov. 7	21 46	11	+ 1	+ 9.528
1880 Jan. 27	23 14	10	− 1	+ 9.549
» Febr. 5	0 11	10	0	+ 9.440
» Febr. 9	0 14	11	0	+ 9.423
1882 Jan. 14	21 33	9	0	+ 9.378
» Febr. 1	23 0	12	0	+ 9.437
» Febr. 1	23 40	10	0	+ 9.405
» Febr. 13	0 0	10	0	+ 9.404
				+ 9.443 ± 0.017

35—25 ($\Delta\delta = +2'\,57''$)

1882 Jan. 14	21 11	9	− 2	+ 11.953
» Jan. 17	22 21	10	− 2	+ 11.893
» Febr. 1	0 3	8	− 2	+ 11.892
» Febr. 10	0 35	12	− 2	+ 11.878
» Febr. 11	23 29	11	− 2	+ 11.831
» Febr. 11	23 40	11	− 2	+ 11.910
» Febr. 13	22 31	12	− 2	+ 11.948
				+ 11.901 ± 0.016

36—25 ($\Delta\delta = -0'\,34''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1882 Jan. 16	$23^h\ 57^m$	10	0	+ 14.830
» Jan. 17	22 51	9	0	+ 14.789
» Febr. 10	0 35	12	− 1	+ 14.809
» Febr. 11	23 40	11	− 1	+ 14.810
» Febr. 13	22 31	12	− 1	+ 14.795
				+ 14.807 ± 0.007

37—25 ($\Delta\delta = +4'\,31''$)

1882 Jan. 14	21 11	10	− 5	+ 14.975
» Jan. 17	22 21	10	− 5	+ 14.905
» Febr. 1	0 3	8	− 4	+ 14.940
» Febr. 11	23 29	11	− 6	+ 14.974
				+ 14.948 ± 0.018

39—25 ($\Delta\delta = -1'\,29''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	+ 1	+ 25.438
» Oct. 24	20 17	10	+ 3	+ 25.498
» Nov. 7	21 46	11	+ 1	+ 25.515
1880 Jan. 27	23 14	10	− 3	+ 25.447
» Febr. 5	0 11	10	− 1	+ 25.384
» Febr. 9	0 14	11	− 1	+ 25.426
1881 Dec. 10	22 16	11	+ 3	+ 25.426
1882 Febr. 1	23 0	13	0	+ 25.458
» Febr. 13	0 0	10	− 1	+ 25.459
				+ 25.450 ± 0.013

40—25 ($\Delta\delta = -2'\,55''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	+ 2	+ 28.358
» Oct. 24	20 17	10	+ 4	+ 28.284
» Nov. 7	21 46	11	+ 2	+ 28.425
1880 Jan. 27	23 14	10	− 2	+ 28.368
» Febr. 5	0 11	10	− 2	+ 28.348
» Febr. 9	0 14	11	− 2	+ 28.380
1881 Dec. 10	22 16	11	+ 3	+ 28.376
1882 Febr. 1	23 0	13	+ 1	+ 28.370
» Febr. 13	0 0	10	0	+ 28.390
				+ 28.367 ± 0.012

41—25 ($\Delta\delta = +2'\,11''$)

1882 Jan. 14	21 11	10	− 3	+ 29.592
» Jan. 17	22 21	10	− 3	+ 29.477
» Febr. 1	0 3	7	− 3	+ 29.497
» Febr. 11	23 29	11	− 4	+ 29.388
				+ 29.488 ± 0.041

42—25 ($\Delta\delta = +2'34''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1882 Jan. 17	$22^h\ 51^m$	8	− 3	+ 29ˢ.809
» Febr. 10	0 35	12	− 4	+ 29.928
» Febr. 13	22 31	12	− 4	+ 29.754
				+ 29.830

43—25 ($\Delta\delta = -1'5''$)

1879 Sept. 12	19 51	8	+ 2	+ 32.796
» Oct. 24	20 17	10	+ 3	+ 32.813
» Nov. 7	21 46	7	+ 3	+ 32.867
1880 Jan. 27	23 14	10	− 2	+ 32.823
» Febr. 5	0 11	10	− 2	+ 32.808
» Febr. 9	0 14	11	− 2	+ 32.798
1881 Dec. 10	22 16	11	+ 1	+ 32.768
1882 Jan. 14	21 11	9	0	+ 32.805
» Jan. 17	22 21	9	0	+ 32.755
» Febr. 1	23 0	13	0	+ 32.850
» Febr. 12	0 0	10	− 1	+ 32.829
				+ 32.810 ± 0ˢ.009

44—25 ($\Delta\delta = -5'5''$)

1880 Febr. 9	0 14	11	− 1	+ 40.481

Declinationsdifferenzen 1880.0.

1—2 ($\Delta\alpha = -3ˢ.7$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Nov. 9	$21^h\ 54^m$	43ʳ.9658	III	4	+ 8	− 176″.06
1880 Jan. 31	22 1	58.4327	II	4	+ 36	− 177.19
» März 1	0 42	44.3378	III	4	+ 4	− 177.43
1882 Febr. 2	21 46	46.8150	III	5	+ 9	− 177.01
» Febr. 12	23 9	47.2637	III	6	+ 4	− 177.18
						− 176.97 ± 0″.24

3—2 ($\Delta\alpha = +8ˢ.1$)

1882 Febr. 10	22 53	40.0102	II	4	+ 6	− 100.53

5—2 ($\Delta\alpha = +8^s.8$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1882 Jan. 13	$0^h\ 6^m$	40.8623	II	4	+ 5	− 92.″79
» Jan. 28	0 26	40.5492	II	4	+ 4	− 93.30
» Febr. 12	23 3	40.9878	II	6	+ 4	− 93.19
						− 93.09

7—2 ($\Delta\alpha = +9^s.9$)

1879 Nov. 9	22 2	36.7500	II	4	+ 7	− 106.93
1880 Jan. 31	22 8	37.2178	II	4	+ 5	− 106.71
» März 1	0 48	37.0675	II	4	+ 3	− 106.22
1882 Febr. 2	21 51	39.5442	II	5	+ 4	− 106.70
» Febr. 12	22 57	39.9663	II	6	+ 4	− 106.83
						− 106.68 ± 0.″12

9—2 ($\Delta\alpha = +14^s.8$)

1879 Nov. 9	22 9	45.2590	I	4	+ 14	− 180.43
1880 Jan. 31	22 14	45.7312	I	4	+ 4	− 180.07
» März 1	0 53	45.5598	I	4	+ 2	− 179.86
1882 Febr. 2	21 55	48.1002	I	5	+ 5	− 179.51
» Febr. 12	22 48	48.5083	I	6	+ 8	− 179.79
						− 179.93 ± 0.15

10—2 ($\Delta\alpha = +16^s.1$)

1882 Jan. 13	0 13	43.2715	II	4	+ 5	− 60.58
» Jan. 28	0 29	42.9315	II	4	− 2	− 61.43
						− 61.00

11—2 ($\Delta\alpha = +17^s.5$)

1882 Jan. 13	0 22	48.9190	II	4	+ 8	+ 15.00
» Jan. 28	0 32	48.5532	II	4	+ 9	+ 13.78
						+ 14.39

13—2 ($\Delta\alpha = +20^s.2$)

1880 Jan. 26	22 6	42.8682	III	4	+ 7	+ 164.29
» Febr. 2	23 51	43.4782	III	4	+ 9	+ 163.54
» März 1	0 1	43.3090	III	4	+ 4	+ 163.68
1882 Jan. 4	1 0	46.0495	III	4	+ 10	+ 163.23
						+ 163.68 ± 0.21

15—2 ($\Delta\alpha = +22^s.9$)

1880 Jan. 26	22 13	43.2450	III	4	+ 4	+ 169.29
» Febr. 2	23 56	43.8800	III	4	+ 10	+ 168.92
» März 1	0 9	43.7125	III	4	+ 9	+ 169.12
1882 Jan. 4	1 6	46.4228	III	4	+ 12	+ 168.23
						+ 168.89 ± 0.24

19—2 ($\Delta\alpha = +28^s.5$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$	
1882 Jan. 16	$0^h\ 19^m$	46r0387	II	4	— 2	— 19.″96	
» Jan. 28	0 42	46.1290	II	4	— 1	— 18.69	
						— 19.32	

24—2 ($\Delta\alpha = +31^s.3$)

1880 Jan. 26	22 21	45.4662	III	4	+ 9	+ 199.03	
» Febr. 2	0 3	46.1262	III	4	+ 10	+ 198.93	
» März 1	0 17	45.9548	III	4	+ 10	+ 199.09	
1882 Jan. 4	1 11	48.7320	III	4	+ 21	+ 199.18	
						+ 199.06	± 0.″04

28—2 ($\Delta\alpha = +34^s.6$)

1882 Jan. 16	0 26	42.7400	II	4	— 8	— 63.98	
» Jan. 28	0 52	42.5292	II	4	— 8	— 66.72	
						— 65.35	

32—2 ($\Delta\alpha = +40^s.6$)

1882 Jan. 16	0 30	48.1960	I	4	— 5	— 178.23	
» Febr. 10	0 9	48.1982	I	4	— 6	— 178.12	
						— 178.17	

33—2 ($\Delta\alpha = +41^s.6$)

1880 Jan. 26	22 29	48.9118	III	4	+ 15	+ 245.13	
» Febr. 5	22 53	49.5398	III	4	+ 19	+ 244.44	
» März 1	0 23	49.4158	III	4	+ 14	+ 245.38	
1882 Jan. 4	1 50	52.1565	III	4	+ 30	+ 245.03	
						+ 244.99	± 0.19

34—2 ($\Delta\alpha = +42^s.6$)

1880 Jan. 26	22 37	48.4358	III	4	+ 13	+ 238.74	
» Febr. 5	23 1	49.1048	III	4	+ 15	+ 238.58	
» März 1	0 30	48.9155	III	4	+ 15	+ 238.70	
1882 Jan. 4	1 57	51.6800	III	3	+ 33	+ 238.60	
						+ 238.65	± 0.04

38—2 ($\Delta\alpha = +53^s.7$)

1879 Nov. 9	22 17	36.0238	I	4	+ 15	— 303.85	
1880 Febr. 5	23 42	36.5108	I	4	+ 3	— 303.44	
1881 Dec. 10	23 49	39.3425	I	4	+ 4	— 303.23	
1882 Febr. 2	22 9	38.8338	I	4	— 4	— 303.24	
» Febr. 12	22 37	39.2840	I	6	— 3	— 303.02	
						— 303.44	± 0.14

39—2 ($\Delta\alpha = +58^s.6$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Nov. 9	$22^h\,55^m$	41r3092	III	4	+ 24	+ 140″.50
1880 Febr. 5	23 7	41.7262	III	4	+ 11	+ 139.94
1881 Dec. 10	23 13	44.5480	III	4	+ 24	+ 140.16
1882 Febr. 2	23 22	44.0675	III	4	+ 23	+ 140.43
						+ 140.26 ± 0″.12

40—2 ($\Delta\alpha = +61^s.5$)

1879 Nov. 9	22 28	48.8050	II	4	+ 7	+ 54.29
1880 Febr. 5	23 23	49.2248	II	4	+ 9	+ 53.71
1881 Dec. 10	23 23	52.0475	II	4	+ 27	+ 53.98
1882 Febr. 2	22 42	51.6145	II	4	+ 32	+ 54.95
						+ 54.23 ± 0.26

43—2 ($\Delta\alpha = +66^s.0$)

1880 Jan. 26	22 44	42.9468	III	4	+ 9	+ 165.36
» Febr. 5	23 14	43.6138	III	4	+ 14	+ 165.20
1881 Dec. 10	23 32	46.3867	III	4	+ 21	+ 164.70
1882 Jan. 13	22 23	46.2192	III	4	+ 26	+ 165.52
						+ 165.19 ± 0.18

44—2 ($\Delta\alpha = +73^s.6$)

1879 Nov. 9	22 39	39.1255	II	4	+ 8	− 75.21
1880 Febr. 5	23 49	39.5905	II	4	− 4	− 75.08
1881 Dec. 10	23 58	42.3760	II	3	− 12	− 75.40
1882 Febr. 2	22 15	41.9178	II	4	− 19	− 74.75
» Febr. 12	23 22	42.2807	II	6	− 18	− 75.68
						− 75.28 ± 0.15

12—7 ($\Delta\alpha = +8^s.7$)

1882 Febr. 10	22 48	42.2720	II	4	+ 5	− 70.30

16—9 ($\Delta\alpha = +8^s.2$)

1882 Jan. 28	0 10	41.8260	II	4	+ 2	− 76.23
» Febr. 10	0 3	41.9382	II	4	+ 3	− 74.73
						− 75.48

17—9 ($\Delta\alpha = +11^s.1$)

1882 Febr. 10	22 41	52.7992	II	4	+ 15	+ 70.58

31—9 ($\Delta\alpha = +24^s.8$)

1882 Febr. 10	22 36	38.8450	II	4	− 2	− 116.01

26—24 ($\Delta\alpha = + 2^s.0$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1882 Jan. 28	$23^h\ 33^m$	50.0927	II	4	+ 2	+ 34.″29
» Febr. 10	23 38	50.0386	II	5	+ 3	+ 33.57
						+ 33.93

27—24 ($\Delta\alpha = + 2^s.3$)

1882 Febr. 10	22 27	45.6045	II	4	+ 1	— 25.72

2—25 ($\Delta\alpha = - 33^s.2$)

1879 Dec. 15	22 52	48.7820	III	4	+ 15	— 229.81
1880 Febr. 2	0 11	48.3718	III	4	+ 13	— 228.97
» Febr. 5	23 35	48.3910	III	4	+ 13	— 229.02
» Febr. 9	23 21	48.2902	III	4	+ 10	— 230.18
» März 1	23 55	48.2305	III	4	+ 10	— 229.50
1882 Jan. 4	0 50	50.9753	III	4	+ 26	— 229.20
» Jan. 13	21 49	51.0280	III	4	+ 25	— 229.77
» Febr. 2	23 3	50.7172	III	5	+ 26	— 229.32
						— 229.47 ± 0.″15

4—25 ($\Delta\alpha = - 24^s.5$)

1882 Jan. 13	23 12	38.4255	II	4	+ 7	+ 125.37
» Febr. 3	22 46	38.2036	II	5	+ 8	+ 124.63
						+ 125.00

6—25 ($\Delta\alpha = - 23^s.8$)

1882 Jan. 13	23 5	39.8440	I	4	+ 7	+ 293.55
» Jan. 16	23 17	39.5315	I	4	+ 6	+ 294.13
» Febr. 3	22 39	39.5248	I	5	+ 6	+ 294.09
» Febr. 11	22 6	39.9888	I	5	+ 7	+ 293.64
» Febr. 12	21 57	40.0140	I	5	+ 8	+ 293.37
						+ 293.76 ± 0.15

8—25 ($\Delta\alpha = - 20^s.5$)

1882 Febr. 10	22 15	41.3245	II	4	+ 2	+ 82.93

13—25 ($\Delta\alpha = - 13^s.0$)

1879 Dec. 15	22 16	50.4810	II	4	+ 9	— 66.02
1880 Febr. 5	22 2	50.1505	II	4	+ 7	— 66.18
» Febr. 9	23 28	49.9342	II	4	+ 8	— 65.70
1882 Jan. 4	1 19	52.7106	II	4	+ 17	— 65.88
						— 65.94 ± 0.09

14—25 ($\Delta\alpha = -12^s.4$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1882 Jan. 13	$22^h\,46^m$	45r.3850	II	4	+ 1	+ 32″.31
» Febr. 3	22 32	45.1202	II	5	+ 1	+ 32.13
» Febr. 12	22 8	45.5305	II	6	− 3	+ 32.42
						+ 32.29

15—25 ($\Delta\alpha = -10^s.3$)

1879 Dec. 15	22 22	50.0662	II	4	+ 5	− 60.45
1880 Febr. 5	22 7	49.7360	II	4	+ 11	− 60.56
» Febr. 9	23 33	49.4932	II	4	+ 8	− 59.81
1882 Jan. 4	1 23	52.3118	II	4	+ 11	− 60.49
						− 60.33 ± 0″.17

18—25 ($\Delta\alpha = -5^s.3$)

1882 Jan. 28	23 48	41.5390	II	4	+ 4	+ 80.08
» Febr. 10	23 33	41.5092	II	6	+ 4	+ 80.48
						+ 80.28

20—25 ($\Delta\alpha = -3^s.4$)

1882 Jan. 13	22 41	43 8650	II	4	+ 3	+ 52.65
» Jan. 16	23 1	43.5100	II	4	+ 3	+ 53.81
» Febr. 2	22 52	43.5390	II	5	+ 2	+ 53.30
» Febr. 3	22 16	43.5520	II	5	+ 2	+ 53.10
» Febr. 10	23 53	43.5208	II	4	+ 2	+ 53.58
» Febr. 11	23 16	43.9594	II	5	+ 2	+ 53.40
						+ 53.31 ± 0.17

21—25 ($\Delta\alpha = -3^s.3$)

1879 Dec. 15	22 30	41.3557	II	4	+ 9	+ 56.09
1880 Jan. 31	22 19	40.9380	II	4	+ 2	+ 56.97
» Febr. 9	22 52	40.8060	II	4	+ 2	+ 56.38
1882 Jan. 4	0 40	43.5812	II	4	+ 3	+ 56.31
» Jan. 13	22 36	43.5692	II	4	+ 3	+ 56.60
» Jan. 16	23 10	43.3635	II	4	+ 5	+ 55.79
» Jan. 28	23 54	43.3130	II	4	+ 6	+ 56.39
» Febr. 2	22 47	43.3417	II	4	+ 6	+ 55.97
» Febr. 3	22 8	43.3138	II	6	+ 6	+ 56.32
» Febr. 10	23 49	43.3374	II	5	+ 5	+ 56.06
» Febr. 11	22 22	43.7840	II	5	+ 1	+ 55.74
						+ 56.24 ± 0.11

22—25 ($\Delta\alpha = -3^s.0$)

1882 Jan. 16	22 54	42.1312	II	5	+ 8	+ 72.29
» Febr. 2	22 57	42.1142	II	5	+ 8	+ 72.40
» Febr. 10	23 57	42.0900	II	4	+ 7	+ 72.75
						+ 72.48

23—25 ($\Delta\alpha = -2^s.6$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1882 Jan. 28	$23^h\ 27^m$	50.2595	I	4	+ 3	+ 150.67
» Febr. 3	22 24	50.2955	I	6	+ 4	+ 150.13
						+ 150.40

24—25 ($\Delta\alpha = -1^s.8$)

1879 Dec. 15	22 35	47.7605	II	4	+ 3	− 29.61
1880 Jan. 31	22 24	47.5220	II	4	+ 5	− 31.08
» Febr. 9	23 39	47.2975	II	4	0	− 30.39
1882 Jan. 4	1 23	50.0718	II	4	+ 2	− 30.47
						− 30.39 ± 0.31

29—25 ($\Delta\alpha = +2^s.6$)

1879 Dec. 15	22 43	40.2745	III	4	− 3	+ 115.94
1880 Febr. 5	21 51	39.9381	III	4	+ 5	+ 115.99
» Febr. 9	22 57	39.7890	III	4	+ 4	+ 116.52
1882 Jan. 4	0 45	42.4847	III	4	+ 1	+ 115.50
» Febr. 12	22 18	56.6355	II	6	+ 25	+ 116.20
						+ 116.03 ± 0.17

30—25 ($\Delta\alpha = +2^s.7$)

1882 Jan. 28	23 42	43.2180	II	4	+ 6	− 57.66
» Febr. 10	23 27	43.2385	II	4	+ 6	− 57.39
						− 57.52

33—25 ($\Delta\alpha = +8^s.5$)

1880 Jan. 26	22 54	45.6780	II	4	+ 3	+ 15.37
» Jan. 31	22 29	46.3955	II	4	+ 3	+ 16.00
» Febr. 9	23 42	46.1120	II	4	+ 1	+ 14.56
1882 Jan. 4	1 39	48.9458	II	4	+ 4	+ 15.45
						+ 15.34 ± 0.31

34—25 ($\Delta\alpha = +9^s.4$)

1880 Jan. 26	22 58	45.1837	II	4	− 2	+ 8.71
» Febr. 5	22 16	45.8842	II	4	+ 5	+ 9.02
» Febr. 9	23 47	45.6522	II	4	+ 5	+ 8.45
1882 Jan. 4	1 42	48.4765	II	4	+ 3	+ 9.17
						+ 8.84 ± 0.16

35—25 ($\Delta\alpha = +11^s.9$)

1882 Jan. 13	23 20	47.0878	III	4	+ 7	+ 176.94
» Febr. 3	23 8	60.7392	II	5	+ 45	+ 177.04
						+ 176.99

36—25 ($\Delta\alpha = +14^s.8$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1882 Jan. 13	$23^h\,58^m$	45r.2595	II	4	+ 1	− 33″.99
» Febr. 10	23 22	45.0205	II	4	− 2	− 33.49
						− 33.74

37—25 ($\Delta\alpha = +14^s.9$)

1882 Jan. 13	23 25	54.1162	III	4	+ 24	+ 271.03
» Febr. 3	23 15	53.7934	III	5	+ 27	+ 270.47
						+ 270.75

39—25 ($\Delta\alpha = +25^s.4$)

1880 Jan. 26	23 3	37.7815	II	4	+ 2	− 90.20
» Febr. 5	22 21	38.5415	II	4	0	− 89.14
» März 1	23 30	38.3290	II	4	+ 3	− 89.36
1882 Jan. 13	21 57	41.1480	II	4	+ 3	− 88.95
						− 89.41 ± 0″.29

40—25 ($\Delta\alpha = +28^s.4$)

1880 Jan. 26	23 9	45.3572	I	4	+ 11	− 176.19
» Febr. 5	22 30	46.1550	I	4	+ 8	− 174.62 [1]
» März 1	23 45	45.9120	I	4	+ 6	− 175.19
1882 Jan. 13	22 5	48.7308	I	4	0	− 174.72 [2]
						− 175.18 ± 0.37

41—25 ($\Delta\alpha = +29^s.5$)

1882 Jan. 13	23 51	57.5042	II	4	+ 37	+ 130.01
» Febr. 3	23 23	57.3626	II	5	+ 35	+ 131.82
						+ 130.91

42—25 ($\Delta\alpha = +29^s.8$)

1882 Febr. 10	22 21	45.0625	III	4	+ 13	+ 153.60

43—25 ($\Delta\alpha = +32^s.8$)

1880 Jan. 26	23 19	39.6862	II	4	+ 2	− 64.74
» Febr. 5	22 36	40.3400	II	4	+ 2	− 65.13
» März 1	23 36	40.1980	II	4	+ 4	− 64.40
1882 Jan. 13	22 13	42.9892	II	4	− 5	− 64.27
						− 64.63 ± 0.20

1) Schlecht zu trennen.

2) Schwierig zu beobachten, die Componenten fliessen zusammen.

Grössenschätzungen.

Grössenschätzungen wurden bei diesem Sternhaufen verhältnissmässig selten vorgenommen; von 8 der helleren Sterne, welche in der Durchmusterung vorkommen, fehlen dieselben ganz. Die erlangten Werthe sind aus der nachstehenden Zusammenstellung ersichtlich.

No.	I	II	III	IV	V	VI	VII
2	$8^m.5$	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	$12^m.8$
4	—	—	$12^m.0$	—	$10^m.5$	—	—
5	—	—	—	$11^m.0$	—	$10^m.9$	—
6	—	—	—	9.2	—	—	—
8	—	—	—	—	13.0	—	13 5
10	—	$13^m.0$	—	12.2	—	12.0	—
11	—	12.0	—	11.2	—	11.5	—
12	—	—	—	—	—	—	13.0
13	9.5	—	—	—	—	—	—
14	—	—	12.2	—	10.0	—	—
15	9.3	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	11.5	—
17	—	—	—	—	—	—	13.0
18	—	—	—	—	13.0	13.0	—
19	—	—	—	12.0	—	11.8	—
20	—	—	—	8.5	—	—	—
22	—	—	—	12.0	—	—	—
23	—	—	—	—	12.5	12.8	—
24	9.5	—	—	—	—	—	—
25	9.4	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	11.0	—
27	—	—	—	—	13.0	—	—
28	—	—	—	12.0	—	11.8	—
29	—	—	10.0	—	9.5	—	—
30	—	—	—	12.8	12.0	12.5	—
31	—	—	—	—	—	—	12.8
32	—	—	—	12.4	—	—	—
33	9.5	—	—	—	—	—	—
34	9.6	—	—	—	—	—	—
35	—	—	13.0	—	12.0	—	—
36	—	12.5	—	12.5	12.0	—	13.0
37	—	—	11.8	—	11.0	—	—
41	—	—	12.0	—	11.0	—	—
42	—	—	—	—	12.5	—	13.0
43	—	—	9.5	—	—	—	—

Es beziehen sich die Schätzungen unter

I	auf	1879	Nov. 3
II	»	1882	Jan. 13
III	»	»	Jan. 14
IV	»	»	Jan. 16
V	»	»	Jan. 17
VI	»	»	Jan. 28
VII	»	»	Febr. 10

Ausserdem finden sich in den Beobachtungsbüchern noch folgende auf die Helligkeiten der Sterne bezügliche, aber des ziffernmässigen Beleges entbehrende Bemerkungen.

1879 Sept. 12: 33 und 34 zu schwach für Feldbeleuchtung.

1882 Jan. 16: 22 bei ganz schwach erleuchtetem Felde noch eher zu sehen als bei hellen Fäden; 25 zum ersten Male doppelt gesehen; 20 schwierig, 32 sehr schwer zu messen.

» Jan. 17: bei schwach erleuchtetem Felde 26 gerade noch als scharfer Punkt zu sehen.

» Jan. 28: 8 nicht, 42 nur sehr schwer zu sehen; 27 nicht zu sehen; 31, 17 und 12 zwar zu sehen, aber nicht zu messen; 23 gut, 26 schwer, 18 sehr schwer sichtbar.

» Febr. 1: 32 nur *sehr* schwer zu sehen, auch 5 an der Grenze der Sichtbarkeit, 14 bei schwach erleuchtetem Felde gerade noch sichtbar, 22 und 18 kaum 13. Grösse, 11 nur schwach. Wegen ☾ überhaupt alle Sterne schwach und *sehr* unruhig.

» Febr. 3: 42 nicht zu sehen; 8, 12 und 27 nur zu vermuthen, 31 und 17 nicht zu sehen.

» Febr. 11: 8, 18, 22 und 30 nur zu vermuthen.

Die Durchmusterung giebt folgende Grössen an:

No.		No.		No.		No.	
1	$9^m.2$	9	$8^m.8$	24	$9^m.5$	38	$8^m.8$
2	8.5	13	9.5	25	9.4	39	8.3
6	9.1	15	9.3	29	9.5	40	9.1
7	9.5	21	4.0	33	9.2	43	9.3

Die directe Beobachtung hat für die relativen Coordinaten des Hauptsternes 2 in Bezug auf 25 ergeben:

$$\Delta\alpha = -33^{s}.153 \pm 0^{s}.010 , \qquad \Delta\delta = -229''.47 \pm 0''.15 .$$

Ferner sind die 8 Sterne 13, 15, 24, 33, 34, 39, 40, 43 sowohl an 2, als auch an 25 angeschlossen worden, woraus sich 8 weitere Bestimmungen der Relation zwischen den beiden Hauptsternen ergeben, die mit der directen Bestimmung nach Maassgabe ihrer einzelnen mittleren Fehler vereinigt einen Werth ergeben, welcher als genügend sicher zu erachten ist. Nachstehend sind diese 9 Bestimmungen mit ihren mittleren Fehlern und den sich aus diesen ergebenden Gewichten aufgeführt:

*	$\Delta\alpha$	m. F.	Gew.	$\Delta\delta$	m. F.	Gew.
13	$-33^{s}.171$	$\pm 0^{s}.019$	2.7	$-229''.62$	$\pm 0''.23$	1.9
15	175	019	2.8	22	29	1.2
24	155	032	1.0	45	31	1.0
33	163	020	2.5	65	36	0.8
34	188	021	2.3	81	17	3.7
39	166	021	2.3	67	31	1.0
40	134	022	2.0	41	45	0.5
43	164	020	2.5	82	27	1.4
direct	−33.153	± 0.010	10.0	−229.47	± 0.15	4.4
	−33.162	± 0.005		−229.60	± 0.06	

Das directe Mittel ohne Anwendung von Gewichten hätte ergeben:

$$\Delta\alpha = -33^{s}.163 \pm 0^{s}.005 , \qquad \Delta\delta = -229''.57 \pm 0''.07 .$$

Für den mittleren Ort 1880.0 von 15 Monocerotis (Stern 21) giebt der Fundamental-Catalog

$$6^{h}\ 34^{m}\ 22^{s}.155 \qquad +10^{\circ}\ 0'\ 18''.63 .$$

Durch Anbringung des durch directe Messung gefundenen Werthes für 21—25 und des oben abgeleiteten Werthes für 2—25 ergeben sich dann die nachfolgenden Positionen der beiden Hauptsterne für 1880.0:

2	$6^{h}\ 33^{m}\ 52^{s}.341$	$\pm 0^{s}.011$	$+9^{\circ}\ 55'\ 32''.79$	$\pm 0''.13$
25	6 34 25.503	± 0.010	+9 59 22.39	± 0.11

Die 8 an beide Hauptsterne angeschlossenen Sterne ergeben dann für ihre Positionen folgende Werthe:

		13			
6^h	34^m	$12^s.542$	$+9^o$	$58'$	$16''.47$
		12.533			16.45
6	34	12.537	+ 9	58	16.46
		15			
6	34	15.202	+ 9	58	21.68
		15.189			22.06
6	34	15.195	+ 9	58	21.87
		24			
6	34	23.659	+ 9	58	51.85
		23.666			52.00
6	34	23.662	+ 9	58	51.92
		33			
6	34	33.959	+ 9	59	37.78
		33.958			37.73
6	34	33.958	+ 9	59	37.75
		34			
6	34	34.972	+ 9	59	31.44
		34.946			31.23
6	34	34.959	+ 9	59	31.33
		39			
6	34	50.957	+ 9	57	53.05
		50.953			52.98
6	34	50.955	+ 9	57	53.01
		40			
6	34	53.842	+ 9	56	27.02
		53.870			27.21
6	34	53.856	+ 9	56	27.11
		43			
6	34	58.315	+ 9	58	17.98
		58.313			17.76
6	34	58.314	+ 9	58	17.87

Des Weiteren folgt für den nur unvollständig an die beiden Hauptsterne angeschlossenen Stern 44:

6^h	35^m	$5^s.983$	$+9^\circ$	$54'$	$17''.51$
		5.984			—
6	35	5.983	+9	54	17.51

Ausser dem in vorstehender Liste vorkommenden Stern 24 sind noch die Sterne 9 und 7 als Nebensterne verwendet worden.

Durch Anbringung der direct ermittelten Differenzen an die Position des Hauptsternes 2 ergeben sich als Oerter dieser beiden für 1880.0:

7

$6^h\ 34^m\ 2^s.233 \quad +9^\circ\ 53'\ 46''.11$

9

6 34 7.161 +9 52 32.86

Mit Benutzung der vorstehend abgeleiteten Positionen der Haupt- und Nebensterne erhält man die nachfolgende Liste von Sternpositionen als Resultat der Ausmessung von G.C. 1440:

No.	Gr.	AR. 1880.0	Decl. 1880.0	Z. d. A.
1	9.2	$6^h\ 33^m\ 48^s.664$	$+9^\circ\ 52'\ 35''.82$	11.5
2	8.5	52.341	9 55 32.79	13.8
3	12.8	34 0.466	9 53 52.26	3.1
4	11 2	1.018	10 1 27.39	5.2
5	10.9	1.159	9 53 59.70	7.3
6	9.2	1.741	10 4 16.15	5.5
7	9.5	2.233	9 53 46.11	11.5
8	13.2	4.972	10 0 45.32	4.1
9	8.8	7.161	9 52 32.86	11.5
10	12.4	8.433	9 54 31.79	5.2
11	11.6	9.868	9 55 47.18	6.2
12	13.0	10.975	9 52 35.81	4.1
13	9.5	12.537	9 58 16.46	17.8
14	11.1	13.150	9 59 54.68	7.3
15	9.3	15.195	9 58 21.87	18 8
16	11.5	15.366	9 51 17.38	5.2
17	13.0	18 266	9 53 43 44	4.1
18	13.0	20.184	10 0 42.67	5.2
19	11.9	6 34 20.832	+9 55 13.47	5.2

No.	Gr.	AR. 1880.0	Decl. 1880.0	Z. d. A.
20	8.5	$6^h\ 34^m\ 22^s.079$	$+\ 10^\circ\ 0'\ 15''.70$	5.6
21	5.0...5.5	22.155	10 0 18.63	13.11
22	12 0	22.475	10 0 34.87	7.3
23	12.6	22.900	10 1 52.79	4.2
24	9.5	23.662	9 58 51.92	18.8
25	9.4	25.503	9 59 22.39	—
26	11.0	25.661	9 59 25.86	2.2
27	13.0	25.942	9 58 26.21	3.1
28	11.9	26.942	9 54 27.44	5.2
29	9.7	28.128	10 1 18.42	10.5
30	12.4	28.245	9 58 24.87	6.2
31	12.8	31.989	9 50 36.85	5.1
32	12.4	32.978	9 52 34.62	5.2
33	9.5	33.958	9 59 37.75	16.8
34	9.6	34.959	9 59 31.33	16.8
35	12.5	37.404	10 2 19.38	7.2
36	12.5	40.310	9 58 48.65	5.2
37	11.4	40.451	10 3 53.14	4.2
38	8.8	46.089	9 50 29.38	10.5
39	8.3	50.955	9 57 53.01	16.8
40	9.1	53.856	9 56 27.11	19.8
41	11.5	54.991	10 1 33.30	4.2
42	12.7	55.333	10 1 55.99	3.1
43	9 5	34 58.314	9 58 17.87	18.8
44	9.5	6 35 5.983	$+\ 9\ 54\ 17.51$	9.5

Als Grösse des Variabelen 15 *S* Monocerotis ist die Bestimmung des Fundamental-Cataloges angesetzt worden; die Grössen der Sterne 1, 7, 9, 38, 39, 40 und 44 sind der D.M. entnommen.

Von den Sternen dieses Sternhaufens sind mehrere durch Meridianbeobachtungen bestimmt worden. Es sind auf diese Weise die nachfolgenden Positionen erhalten worden, denen die zugehörigen um 1800 verminderten Epochen beigefügt worden sind:

2	Lalande	$8^m.6$	$6^h\ 33^m\ 52^s.26$	$+\ 9^\circ\ 55'\ 31''.3$	0^a
	Weisse	8.6	52.10	31.7	25
	Leipzig a.Z.	8.1	52.35	34.7	68
	Leipzig n.Z.	8.4	52.43	34.0	86
6	Leipzig n.Z.	8.5	6 34 1.85	+ 10 4 16.5	87
7	Weisse	9	6 34 2.40	+ 9 53 47.3	25
	Leipzig n.Z.	8.5	2.29	46.5	86

9	Leipzig n.Z.	8^{m}.6	6^{h}	34^{m}	7^{s}.22	+	9°	52′	34″.1	86^{a}
38	Leipzig a.Z.	8.6	6	34	45.95	+	9	50	29.4	69
	Leipzig n.Z.	8.5			46.21				28.6	86
39	Lalande	8.5	6	34	51.83	+	9	57	54.2	0
	Weisse	9			51.35				52.8	25
	Leipzig a.Z.	7.9			50.87				53.9	69
	Leipzig n.Z.	8.3			50 98				53.1	87
40	Leipzig n.Z.	8.6	6	34	53.75	+	9	56	26.3	87
44	Leipzig n.Z.	8.7	6	35	6.11	+	9	54	19.6	86

Hiernach ist nur bei dem Sterne 39 eine jährliche Eigenbewegung von etwa — 0^{s}.01 wahrscheinlich; alle übrigen Abweichungen der Meridianbeobachtungen untereinander und gegen die mikrometrische Vermessung halten sich innerhalb solcher Grenzen, dass man sie als zufällige Fehler wird betrachten dürfen.

§ 9.

Dieser Abschnitt ist der Ausmessung einer Gruppe von Sternen in der Nähe von *o* Piscium gewidmet, die man schon in Anbetracht ihrer geringen Anzahl nicht als Sternhaufen würde bezeichnen können, die aber doch beim Beschauer den Eindruck der Zusammengehörigkeit hervorrufen. Ich bin auf diese aus 6 helleren Sternen (Grösse 8.2 bis 9.5), von denen zwei einen Doppelstern bilden, und 4 schwachen Sternchen (Grösse 12 bis 13) bestehende Gruppe zufällig bei der Beobachtung von kleinen Planeten gestossen und fiel mir dieselbe in einer nicht grade sternreichen Gegend noch dadurch besonders auf, dass bei guter Luft der Himmelsgrund an dieser Stelle ganz besonders dunkel erscheint. — Innerhalb des Polygones 1 — 4 — 7 — 10 — 8 — 1 konnte kein weiteres Object wahrgenommen werden. Sämmtliche übrigen Sterne wurden an Stern 4 als Hauptstern angeschlossen.

Rectascensionsdifferenzen 1880.0.

1 — 4 ($\Delta\delta = +4'\,20''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1879 Nov. 7	$23^h\ 54^m$	9	0	$-17^s.600$
» Nov. 9	0 39	10	0	— 17.625
1880 Jan. 19	0 45	11	— 2	— 17.671
» Jan. 26	1 26	9	— 2	— 17.654
» Jan. 27	1 4	11	— 2	— 17.621
» Jan. 30	1 53	10	— 2	— 17.643
				$-17.636 \pm 0^s.010$

2 — 4 ($\Delta\delta = +3'\,13''$)

1880 Jan. 30	1 53	9	— 2	— 14.820
» Nov. 28	23 32	12	0	— 14.721
» Nov. 29	23 30	11	0	— 14.636
				— 14.726

3—4 ($\Delta\delta = +\,0'\,59''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1880 Jan. 27	$1^h\ 29^m$	11	0	$-\ 4^s.186$
» Jan. 30	1 53	10	0	− 4.250
» Nov. 28	23 32	12	0	− 4.088
» Nov. 29	23 30	11	0	− 4.086
				$-\ 4.125 \pm 0^s.040$

5—4 ($\Delta\delta = +\,0'\,57''$)

1880 Jan. 27	1 29	11	− 1	+ 7.804
» Jan. 30	1 53	10	− 1	+ 7.854
» Nov. 28	23 32	12	− 1	+ 7.849
» Nov. 29	23 30	11	− 1	+ 7.840
				$+\ 7.837 \pm 0.011$

6 – 4 ($\Delta\delta = -\,0'\,36''$)

1879 Nov. 7	23 54	9	− 1	+ 11.049
» Nov. 9	0 39	10	− 1	+ 10.999
1880 Jan. 19	0 45	11	− 1	+ 10.963
» Jan. 26	1 26	9	− 1	+ 10.999
» Jan. 26	1 51	10	− 1	+ 11.924
» Jan. 27	1 4	11	− 1	+ 11.017
» Jan. 27	1 29	11	− 1	+ 10.954
» Jan. 30	1 53	10	− 1	+ 10.959
				$+\ 10.983 \pm 0.015$

7—4 ($\Delta\delta = -\,0'\,40''$)

1879 Nov. 7	0 3	9	− 1	+ 11.210
» Nov. 9	0 49	10	− 1	+ 11.244
1880 Jan. 19	0 53	10	− 1	+ 11.254
» Jan. 26	1 38	9	− 1	+ 11.199
» Jan. 27	1 15	12	− 1	+ 11.207
				$+\ 11.223 \pm 0.011$

8—4 ($\Delta\delta = +\,4'\,23''$)

1879 Nov. 7	23 54	9	0	+ 12.767
» Nov. 9	0 39	10	0	+ 12.760
1880 Jan. 19	0 45	11	− 1	+ 12.744
» Jan. 26	1 26	9	− 1	+ 12.706
» Jan. 27	1 4	11	− 1	+ 12.854
» Jan. 27	1 15	12	− 1	+ 12.762
» Jan. 27	1 29	11	− 1	+ 12.826
» Jan. 30	1 53	10	− 1	+ 12.689
				$+\ 12.763 \pm 0.019$

9—4 ($\Delta\delta = +1'\,56''$)

Datum	t	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\alpha$
1880 Jan. 30	$1^h\,53^m$	10	— 2	+ 16ˢ.988
» Nov. 28	23 32	12	— 1	+ 17.020
» Nov. 29	23 30	11	— 1	+ 17.140
				+ 17.049

10—4 ($\Delta\delta = -1'\,2''$)

1879 Dec. 17	0 16	12	— 4	+ 36.463
1880 Jan. 26	1 51	10	— 4	+ 36.546
» Jan. 27	1 29	10	— 4	+ 36.596
» Jan. 30	1 53	10	— 4	+ 36.481
» Nov. 28	23 32	12	— 3	+ 36.522
» Nov. 29	23 30	11	— 3	+ 36.615
				+ 36.537 ± 0ˢ.025

Declinationsdifferenzen 1880.0.

1—4 ($\Delta\alpha = -17ˢ.6$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1879 Nov. 7	$0^h\,16^m$	39ʳ.5548	I	4	+ 11	+ 259″.77
» Nov. 9	1 5	39.3258	I	4	+ 17	+ 259.81
» Dec. 17	23 36	39.1252	I	4	+ 16	+ 259.69
» Dec. 21	23 33	39.1115	I	4	+ 15	+ 259.59
1880 Jan. 27	2 5	39.7455	I	4	+ 10	+ 260.09
						+ 259.79 ± 0″.08

2—4 ($\Delta\alpha = -14ˢ.7$)

1880 Jan. 30	2 9	44.7318	I	4	+ 4	+ 193.39
» Nov. 28	23 50	47.6442	I	4	+ 3	+ 192.22
» Nov. 29	23 48	47.4880	I	4	+ 5	+ 194.17
						+ 193.26

3—4 ($\Delta\alpha = -4ˢ.2$)

1880 Jan. 27	1 48	40.8115	II	4	+ 2	+ 58.63
» Nov. 28	0 10	43.5418	II	4	+ 2	+ 59.90
» Nov. 29	23 54	43.5378	II	4	+ 2	+ 59.79
						+ 59.44

5—4 ($\Delta\alpha = +7^s.8$)

Datum	t	Schraube	F	Z. d. B.	Σ_c	$\Delta\delta$
1880 Jan. 27	$1^h\,52^m$	49r.4930	II	4	+ 9	+ 57″.49
» Nov. 28	23 55	52.2328	II	4	+ 9	+ 56.34
» Nov. 29	0 0	52.2438	II	4	+ 9	+ 56.65
						+ 56.83

6—4 ($\Delta\alpha = +11^s.0$)

1879 Nov. 7	0 26	42.2845	II	4	+ 5	— 36.10
» Nov. 9	1 11	42.0602	II	4	+ 7	— 36.03
» Dec. 17	23 43	42.9000	II	4	+ 4	— 35.36
» Dec. 21	23 39	41.8688	II	4	+ 4	— 35.50
1880 Jan. 27	2 9	42.5145	II	4	0	— 35.85
						— 35.77 ± 0″.15

7—4 ($\Delta\alpha = +11^s.2$)

1879 Nov. 7	0 33	41.9692	II	4	+ 3	— 40.29
» Nov. 9	1 16	41.7312	II	4	+ 4	— 40.40
» Dec. 17	23 49	42.5425	II	4	+ 4	— 40.13
» Dec. 21	23 46	41.5335	II	4	+ 4	— 39.98
1880 Jan. 27	2 15	42.2490	II	4	+ 3	— 39.43
						— 40.05 ± 0.16

8—4 ($\Delta\alpha = +12^s.8$)

1879 Nov. 7	0 42	50.6812	III	4	+ 18	+ 262.75
» Nov. 9	1 22	50.3878	III	4	+ 12	+ 261.85
» Dec. 17	23 58	51.2750	III	4	+ 13	+ 263.14
» Dec. 21	23 52	50.2275	III	4	+ 11	+ 262.76
1880 Jan. 27	2 20	50.9120	III	4	+ 21	+ 262.99
						+ 262.70 ± 0.21

9—4 ($\Delta\alpha = +17^s.0$)

1880 Jan. 30	2 15	53.8712	II	4	+ 21	+ 116.11
» Nov. 28	0 5	56.6420	II	4	+ 27	+ 115.44
» Nov. 29	0 6	56.7350	II	4	+ 27	+ 116.85
						+ 116.13

10—4 ($\Delta\alpha = +36^s.5$)

1879 Dec. 17	0 5	40.9722	II	4	+ 6	— 61.15
1880 Jan. 27	1 57	40.6248	II	4	+ 1	— 61.11
» Nov. 28	0 16	43.4100	II	4	0	— 61.64
» Nov. 29	0 11	43.2862	II	4	+ 2	— 63.16
						— 61.76 ± 0.48

Besondere Grössenschätzungen liegen von den Sternen 1, 4, 6, 7, 8 nicht vor, da keine namhaften Abweichungen ihrer Helligkeiten von den Angaben der Durchmusterung bemerkt wurden. Die Grössen der übrigen Sterne wurden folgendermassen geschätzt:

	1880 Nov. 28	Nov. 29
Stern	Grösse	Grösse
2	13	13
3	13	13
5	12.5	12.0
9	13	13.5
10	9.5	9.6

Nach der Durchmusterung ist:

Stern	Grösse
1	8.7
4	8.6
6, 7	8.2
8	8.8
10	8.3

Stern 6 und 7 erscheinen in der Durchmusterung nur als *ein* Object.

Von 6 Sternen sind neuere Meridiankreisbestimmungen vorhanden, deren Epochen 1880 sehr nahe liegen. Auf 1880.0 reducirt sind es die folgenden:

						1			
8^m	1^h	37^m	$25^s.39$	$+8^\circ$	$57'$	$54''.5$	2	$-0^s.1$	Pola M.K.
8.6			25.43			53.5	2	+5.9	Leipzig n.Z.
						4			
8	1	37	42.97	+8	53	36.6	3.4	−1.3	Glasgow C.
			43.14			34.4	1	+2.0	Leipzig M.K.
8.7			43.18			34.7	2	+4.9	Leipzig n.Z.
						6			
8	1	37	53.94	+8	52	59.6	5.2	−1.2	Glasgow C.
8.5			54.10			60.0	1	+4.9	Leipzig n.Z.
						7			
8	1	37	54.08	+8	52	54.0	3.3	−2.1	Glasgow C.
8.6			54.28			54.5	2	+4.9	Leipzig n.Z.
						8			
8.6	1	37	55.84	+8	57	57.9	2	+5.9	Leipzig n.Z.
						10			
9.0	1	38	19.62	+8	52	32.4	2	+6.9	Leipzig n.Z.

In der Columne nach der Declination ist die Zahl der Beobachtungen vermerkt, die darauf folgende enthält die Grösse »Epoche — 1880.0«.

Um die Position des Hauptsternes 4 möglichst scharf zu erhalten, habe ich diese Bestimmungen sämmtlich herangezogen und zwar in der Weise, dass ich die Sterne 1, 6, 7, 8, 10 durch Anbringung der von mir mikrometrisch ermittelten Differenzen auf den Hauptstern 4 reducirt und die so erhaltenen Positionen mit den directen Bestimmungen von 4 zum Mittel vereinigt habe. Behält man die obige Reihenfolge bei, so erhält man auf diese Weise für den mittleren Ort 1880.0 des Hauptsternes 4 folgende Werthe:

1	$1^h\ 37^m\ 43^s.03$	$+ 8^\circ\ 53'\ 34''.7$	2
	43.07	33.7	1
4	42.97	36.6	2
	43.14	34.4	1
	43.18	34.7	1
6	42.96	35.4	2
	43.12	35.8	$\frac{1}{2}$
7	42.86	34.0	1
	43.06	34.6	1
8	43.08	35.2	1
10	43.08	34.2	1

Die letzte Columne enthält die bei der Mittelbildung zu berücksichtigenden Gewichte. Bei der Vertheilung der letzteren sind die directen und die mit Benutzung der mikrometrischen Anschlüsse ermittelten Bestimmungen als gleichwerthig betrachtet worden. Den Leipziger Zonenbeobachtungen wurde ein geringeres Gewicht zugetheilt, da bei diesen immer nur ein Mikroskop abgelesen ist.

Das Mittel ergiebt sich zu

$$1^h\ 37^m\ 43^s.033 \qquad + 8^\circ\ 53'\ 34''.90\ .$$

Legt man der Position des Hauptsternes diesen Werth zu Grunde, so stellen sich die Resultate der mikrometrischen Ausmessung dar wie folgt:

No.	Gr.	$\Delta\alpha$ 1880.0	$\Delta\delta$ 1880.0	Z. d. A.	α 1880.0	δ 1880.0
1	8.7	$- 17^s.636$	$+ 4'\ 19''.79$	6.5	$1^h\ 37^m\ 25^s.40$	$+ 8^\circ\ 57'\ 54''.7$
2	13.0	$- 14.726$	$+ 3\ 13.26$	3.3	$37\ 28.31$	$56\ 48.2$
3	13.0	$- 4.152$	$+ 0\ 59.44$	4.3	$37\ 38.88$	$54\ 34.3$
4	8.6	0.000	$0\ 0.00$		$1\ 37\ 43.03$	$+ 8\ 53\ 34.9$

No.	Gr.	$\Delta\alpha$ 1880.0	$\Delta\delta$ 1880.0	Z. d. A.	α 1880.0	δ 1880.0
5	12.2	+ 7^s.837	+ 0′ 56″.83	4.3	1^h 37^m 50^s.87	+ 8° 54′ 31″.7
6	8.2	+ 10.983	− 0 35.77	8.5	37 54.02	52 59.1
7	8.2	+ 11.223	− 0 40.05	5.5	37 54.26	52 54.8
8	8.8	+ 12.763	+ 4 22.70	8.5	37 55.80	57 57.6
9	13.2	+ 17.049	+ 1 56.13	3.3	38 0.08	55 31.0
10	9.5	+ 36.537	− 1 1.76	6.4	1 38 19.57	+ 8 52 33.1

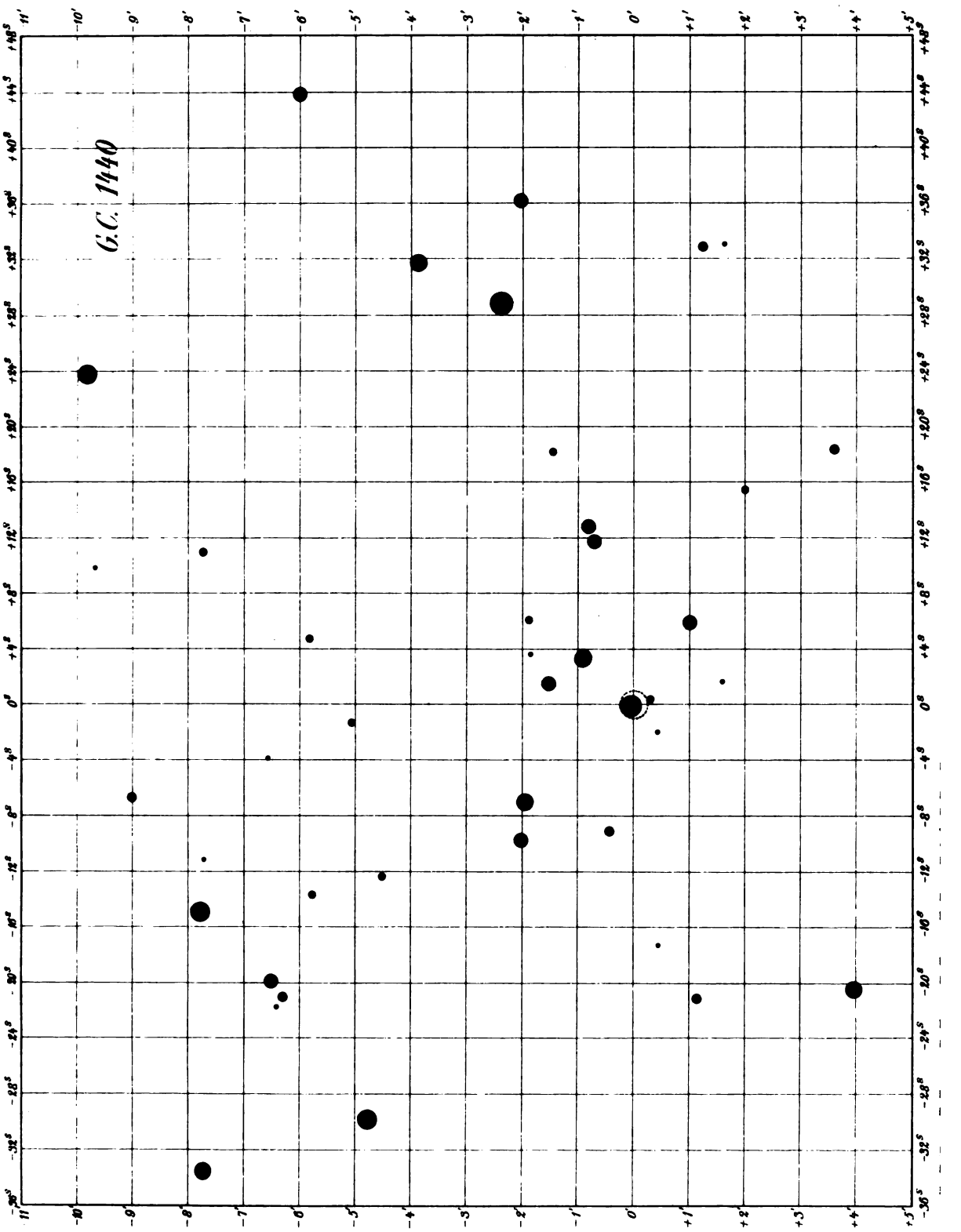
Von älteren Positionsbestimmungen der in dieser Gruppe vorkommenden Sterne sind die folgenden — auf 1880.0 reducirt — vorhanden:

		1			
Lalande	9^m	1^h 37^m 25^s.69	+ 8° 57′	54″.0	1800
Weisse	8	25.50		57.2	1825
		4			
Lalande	9	1 37 43.66	+ 8 53	37.0	1800
Weisse	8	43.15		35.5	1825
		6			
Weisse	8	1 37 53.45	+ 8 53	3.2	1823
Struve M.M.	7.9	53.63		4.2	1831
		7			
Weisse	8	1 37 53.79	+ 8 52	57.3	1823
Struve G.C.	7.7	53.77		60.1	1826
Schjellerup	9	53.94		57.7	1862
		10			
Weisse	9	1 38 19.30	+ 8 52	33.2	1825
B. B. VI	9.4	19.55		31.4	1856

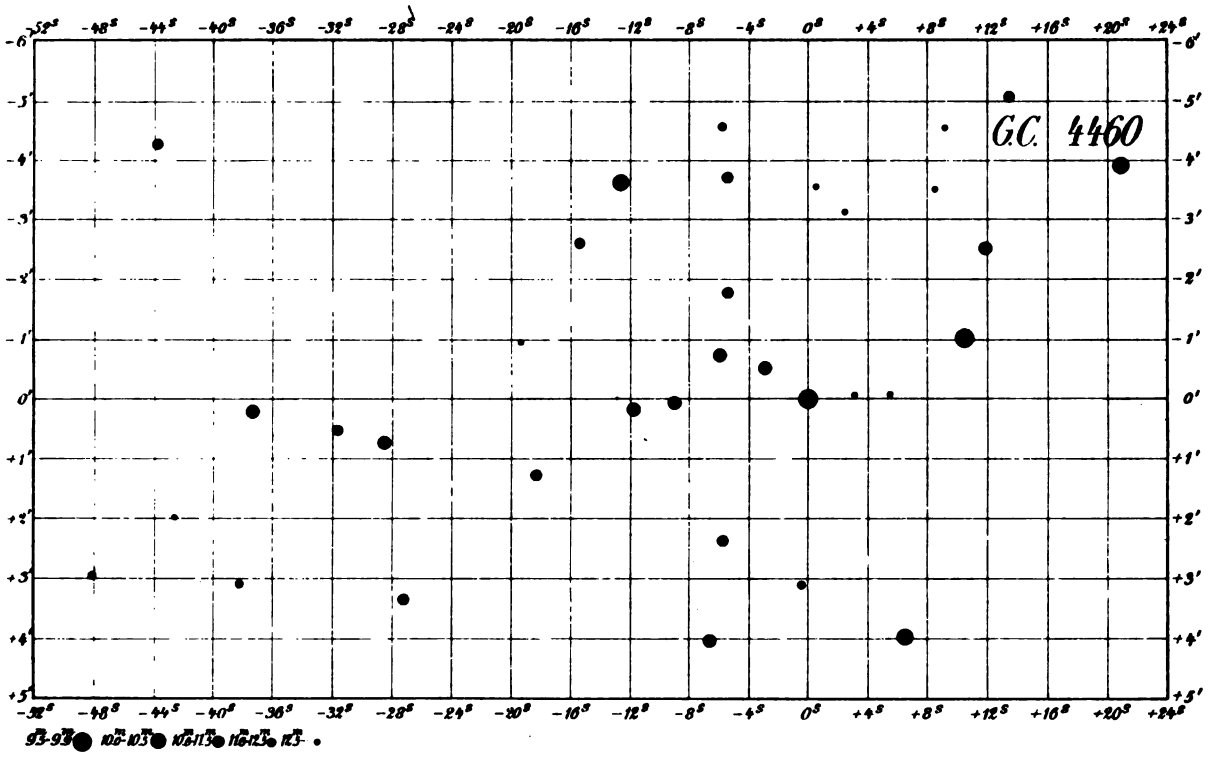
Mit den oben angeführten neueren Meridianbeobachtungen und den Resultaten der mikrometrischen Ausmessung verglichen zeigt sich ganz unverkennbar eine gemeinsame Bewegung des Doppelsternpaares 6 und 7 im beiläufigen Betrag von − 0^s.01 und − 0″.01.

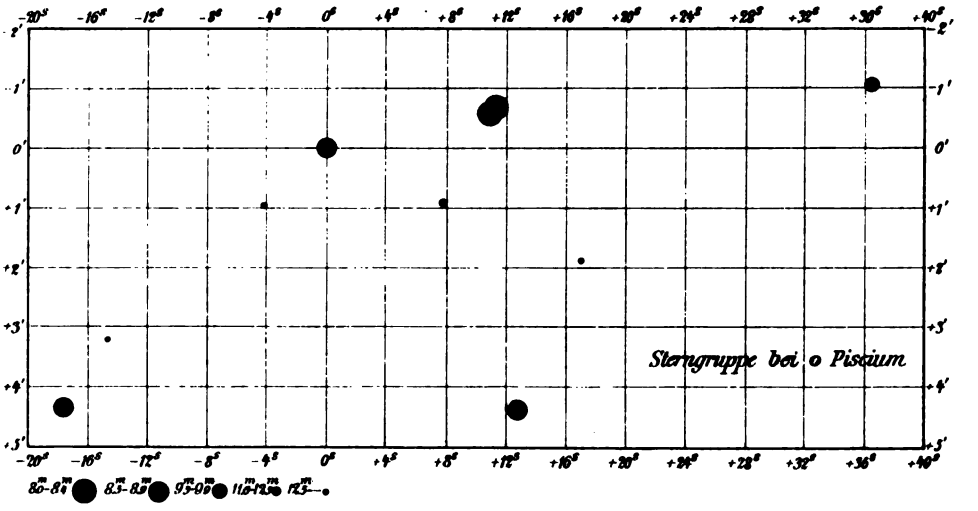
Zu den Karten.

Die Sternkarten auf den beigefügten Tafeln enthalten sämmtliche zur Vermessung gelangten Objecte; die Grössen der Sterne sind jedem Kärtchen beigefügt. Bei sehr engen Doppelsternen wurde nur die eine der Componenten vollständig ausgezeichnet, das übergreifende Stück der anderen aber durch eine feine Linie von dieser getrennt, resp. der schwächere Stern von einem weissen Ring umgeben in den helleren eingezeichnet. — Der punktirte Kreis auf Tab. I bezeichnet den Ort von 15 Monocerotis.



Lith. Anst. v. F. A. Brockhaus, Leipzig





Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig

ÜBER DIE

AFFINITÄTSGRÖSSEN ORGANISCHER SÄUREN

UND

IHRE BEZIEHUNGEN ZUR ZUSAMMENSETZUNG UND CONSTITUTION DERSELBEN.

VON

W. OSTWALD,
ORD. MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° II.

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1889.

ÜBER DIE

AFFINITÄTSGRÖSSEN ORGANISCHER SÄUREN

UND

IHRE BEZIEHUNGEN ZUR ZUSAMMENSETZUNG UND CONSTITUTION DERSELBEN.

VON

W. OSTWALD,
ORD. MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° II.

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1889.

Das Manuscript eingeliefert am 4. December 1888.
Der Druck beendet den 9. Februar 1889.

ÜBER DIE

AFFINITÄTSGRÖSSEN ORGANISCHER SÄUREN

UND

IHRE BEZIEHUNGEN ZUR ZUSAMMENSETZUNG UND CONSTITUTION DERSELBEN

VON

W. OSTWALD.

1. Seit ich vor drei Jahren eine Abhandlung über diesen Gegenstand veröffentlicht habe[1]), ist das damals noch unerledigt gebliebene Problem, die Affinitätsgrösse der Säuren in allgemeingültiger Weise nach Zahl und Maass auszudrücken, im wesentlichen gelöst worden. Es hat sich auf Grund der in hohem Grade zweckmässigen und ausgiebigen Hypothesen von Arrhenius und van t'Hoff der Einfluss wechselnder Verdünnung auf die Leitfähigkeit und somit auf die Reactionsfähigkeit der Elektrolyte überhaupt und insbesondere der Säuren qualitativ und quantitativ in völlig zureichender Weise darstellen lassen[2]), dergestalt, dass in der fraglichen Gleichung nur eine von der Natur der Säure abhängige Constante auftritt. Diese Constante genügt also, um den Stoff durch alle Verdünnungen in Bezug auf seine Affinitätseigenschaften zu kennzeichnen. Sie gewährt aber auch die Möglichkeit, einen von Willkür freien Vergleich der Maasszahlen dieser Affinitätseigenschaften durchzuführen, und ich beabsichtige in der gegenwärtigen Abhandlung zu zeigen, dass diese wahren Affinitätsconstanten in einfachen und leicht erfassbaren Beziehungen zu der Zusammensetzung und Constitution der Säuren stehen; es ist bereits möglich, in vielen Fällen aus der bekannten Constitution die Leitfähigkeit im Voraus zu berechnen und umgekehrt aus der gemessenen Leitfähigkeit die Constitution zu erschliessen. Die erhebliche theoretische wie praktische Tragweite, welche die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit dadurch gewinnt, wird, wie ich hoffe, der beste Dank sein, den ich den vielen Freunden und Fachgenossen, die meine Arbeiten durch Ueberlassung zum Theil kostbarer Präparate gefördert haben, zu bieten vermag.

---

1) Journ. f. prakt. Chemie **32**, 300. 1885.

2) Ostwald, Ztschr. f. physik. Chemie **2**, 270; van t'Hoff, ib. **2**, 777. 1888.

2. Die erwähnte, aus der Dissociationstheorie der Elektrolyte abgeleitete und an der Erfahrung in weitem Umfange bestätigte Gleichung lautet:

$$\frac{\mu_\infty(\mu_\infty - \mu_v)}{\mu_v^2} \cdot v = c, \qquad (1)$$

wo μ_v die molekulare Leitfähigkeit bei der Verdünnung v (in Litern auf ein Grammmolekulargewicht), μ_∞ den Grenzwerth derselben bei unendlicher Verdünnung und c eine Constante bedeutet. Drückt man die mokulare Leitfähigkeit in Bruchtheilen ihres Grenzwerthes aus, setzt also $m = \frac{\mu_v}{\mu_\infty}$, und führt gleichzeitig statt der Constanten c ihren halben Werth, $\gamma = \frac{c}{2}$, ein, so erlangt die Gleichung die Gestalt

$$\frac{1-m}{m^2} v = 2\gamma, \qquad (2)$$

in welcher von der Natur der Säure nur noch die Constante γ abhängt, welche das von der Verdünnung unabhängige Maass für die Fähigkeit des Stoffes ist, die Elektricität zu leiten und chemische Reactionen auszuüben. Sie hat eine anschauliche Bedeutung, die man erkennt, wenn man $m = \frac{1}{2}$ setzt, d. h. den Elektrolyt als zur Hälfte dissociirt ansieht. Alsdann wird nämlich

$$\frac{1-\frac{1}{2}}{\frac{1}{4}} v = 2\gamma \text{ und } v = \gamma.$$

Es stellt also allgemein die Constante γ diejenige Verdünnung dar, bei welcher der fragliche Stoff gerade zur Hälfte dissociirt ist. Bei den starken Säuren hat die Constante einen sehr kleinen Werth, während sie bei schwachen Säuren tausende von Litern betragen kann.

Während bei dieser Darstellung die physikalische Bedeutung der Constanten sehr anschaulich wird, macht sich insofern eine gewisse Unbequemlichkeit geltend, als die Constante für starke Säuren kleine, für schwache Säuren grosse Werthe annimmt. Ich ziehe es deshalb vor, statt derselben ihren halben reciproken Werth $k = \frac{1}{2\gamma}$ zu benutzen, welche Zahl mit der Stärke der Säure zu- und abnimmt. Die Gleichung erlangt dann die Gestalt

$$\frac{m^2}{(1-m)v} = k, \qquad (3)$$

in welcher ich sie weiterhin ausschliesslich anwenden werde. Die

physikalische Bedeutung von k ist nicht so anschaulich, wie die von γ; am ehesten kann man $2k$ als diejenige Concentration bezeichnen, bei welcher der Elektrolyt gerade zur Hälfte dissociirt ist. Für die Erörterung der obenerwähnten Regelmässigkeiten ist diese Umänderung ohne Bedeutung, da, wie gezeigt werden wird, sowohl γ wie k sich als Product von Factoren darstellt, die von der Zusammensetzung und Constitution der Säuren abhängen.

3. Die Berechnung der Constanten k für die einzelnen Säuren setzt die Kenntniss des Grenzwerthes μ_∞ der molekularen Leitfähigkeit voraus. Zwar lässt sich derselbe meist nicht experimentell bestimmen, wohl aber kann man ihn berechnen, wenn man die Wanderungsgeschwindigkeit des Säureradicals sowie des Wasserstoffs kennt. In einer vor Kurzem erschienenen Abhandlung[1]) habe ich gezeigt, wie beide sich sehr annähernd bestimmen lassen, und ich mache von den Ergebnissen jener Messungen und Rechnungen hier fortlaufend Gebrauch. Sollte sich späterhin erweisen, dass an den benutzten Constanten kleine Aenderungen (grosse sind ausgeschlossen) anzubringen sind, so wird sich darum das Gesammtbild der vorzuführenden Beziehungen in keiner Weise verschieben. Ich habe mich deshalb entschlossen, jene Feststellungen, welche zum Theil im Gange sind, nicht erst abzuwarten, sondern das umfangreiche, mir grossentheils bereits seit mehreren Jahren vorliegende Material mit den gegenwärtigen Hilfsmitteln zu bearbeiten.

Für die nachstehenden Rechnungen gelten somit die Zahlen, die ich in meiner vorigen Abhandlung für die Wanderungsgeschwindigkeiten erhalten habe, $H = 320.5$, $Cl = 73.5$ u. s. w.

4. Für die Berechnungen der Constanten k lagen mir zunächst die Messungen an mehr als hundert Säuren vor, welche ich in meinen früheren Abhandlungen veröffentlicht habe, ferner etwa ebenso viele inzwischen ausgeführte, noch unveröffentlichte Messungen. Leider hatte sich schon früher[2]) ergeben, dass meine älteren, in Riga ausgeführten Bestimmungen unter dem Einflusse einer Fehlerquelle stehen, die, an sich nicht sehr erheblich, doch beständige einseitige Abweichungen der erhaltenen Zahlen von der Wahrheit zur Folge hatte.

---

1) Ztschr. f. phys. Ch. **2**, 840. 1888.
2) Ztschr. f. phys. Ch. **2**, 280. 1888.

Es ist der spurweise Ammoniakgehalt des in Riga benutzten Wassers, von dem das Leipziger Wasser in hohem Maasse frei ist. Ich habe deshalb, wenn mir entsprechende Präparate zugänglich waren, meine Messungen wiederholt. Allerdings war das nicht in allen Fällen ausführbar; ich werde in der Folge, wo ich die älteren Zahlen benutzen werde, dieselben mit einem Stern bezeichnen. Da der Fehler überall in dem gleichen Sinne liegt, indem er die Zahlen bei hohen Verdünnungen verkleinert, lässt sich leicht schätzungsweise eine Correction anbringen, welche die Werthe brauchbar macht. Dies wird insbesondere noch durch den Umstand bedingt, dass die Constanten k für verschiedene Säuren ungemein verschiedene Werthe haben, so dass selbst bei nur angenäherter Bestimmung dieser Zahlen sie für die einzelnen Stoffe charakteristisch bleiben.

5. Für die Beurtheilung der Abweichungen, welche die einzelnen Werthe k vom Mittel zeigen, ist zu beachten, dass die Versuchsfehler einen grossen, und dazu wechselnden Einfluss auf die Constante haben. Ein Fehler von einem Procent in der Leitfähigkeit bedingt einen solchen von mindestens zwei, unter Umständen aber 10 und mehr Procenten in der Constanten; man wird also Abweichungen bis 5% als völlig zulässig ansehen müssen. In der That ist die Grösse k äusserst empfindlich für Fehler in den Leitfähigkeitswerthen. Sie erweist sich dadurch als ein ganz vorzügliches Hilfsmittel, um die Reinheit der untersuchten Säuren zu controliren. Denn bei der Untersuchung von Säuregemischen findet regelmässig eine mehr oder weniger schnelle Abnahme von k mit steigender Verdünnung statt; wo diese Erscheinung eintritt, ist sie somit ein untrüglicher Hinweis auf mangelnde Reinheit der Substanz. Ich bin vielfach bei der Untersuchung von Säuren, die ich als »chemisch rein« erhalten hatte, durch das Ergebniss der Berechnung von k veranlasst worden, die Stoffe zweckgemässen Reinigungsoperationen zu unterziehen, und habe stets den Erfolg gehabt, die früher mit der Verdünnung abnehmenden Werthe von k constant werden zu sehen. Derartiges kann selbst bei »analysenreinen« Stoffen geschehen; ist z. B. die Säure mit einer isomeren oder ähnlich zusammengesetzten anderen Säure von sehr abweichender Leitfähigkeit vermengt, so kann die Analyse nichts von dem entdecken, was sich durch den Gang der Zahlen der Leitfähigkeit sofort verräth. Nur in solchen Fällen,

wo von Seiten der platinirten Elektroden ein Einfluss auf die gelöste Substanz erfolgt, wie ich das schon früher bei der Ameisensäure beobachtet habe, lässt sich eine stetige Verkleinerung der Constanten nicht völlig vermeiden, wenn man sie auch durch schnelles Arbeiten einigermassen einschränken kann[1]).

6. In den nachstehenden Tabellen stehen unter v die Verdünnungen in Litern, unter μ die beobachteten molekularen Leitfähigkeiten bei 25°, bezogen auf Quecksilbereinheiten. Die mitgetheilten Werthe sind meist wie früher Mittel aus je zwei Bestimmungen; um Raum zu sparen, unterlasse ich die Mittheilung der Einzelmessungen. Denn über den Grad der erlangten Uebereinstimmung geben die vielen Hunderte von Doppelbestimmungen, die in meinen früheren Arbeiten mitgetheilt sind, genügende Auskunft. Die folgende Spalte enthält unter m den Werth der relativen molekularen Leitfähigkeit; der Werth von μ_∞, auf welchen derselbe bezogen ist, findet sich in der Ueberschrift der Tabelle angegeben. Um unnütze Nullen zu vermeiden, ist m mit 100 multiplicirt; die Zahlen bedeuten also Procente der molekularen Leitfähigkeit und somit auch den Grad der elektrolytischen Dissociation in Procenten. Die vierte Spalte enthält die nach der Formel $\frac{m^2}{v(1-m)} = k$ berechnete Dissociationsconstante k, welche wiederum mit 100 multiplicirt ist und zum Schluss ist der wahrscheinlichste Werth von $100\,k = K$ angegeben.

7. Die Fettsäuren. Für die Säuren der Formel $C^nH^{2n}O^2$ erhielt ich folgende Werthe:

Tab. 1. Ameisensäure, *HCOOH*.

$\mu_\infty = 376.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	15.22	4.05	0.0214
16	21.19	5.63	0.0210
32	29.31	7.79	0.0206
64	40.50	10.78	0.0203
128	55.54	14.76	0.0200
256	75.66	20.12	0.0198
512	102.1	27.10	0.0197
1024	134.7	35.80	0.0195

$K = 0.0214$

1) Vgl. van t'Hoff und Reicher, Ztschr. f. phys. Ch. **2**, 781. 1888.

Die Constante k nimmt um etwa 10% ab, was, wie erwähnt, auf die Zerstörung der Ameisensäure durch den Einfluss der platinirten Elektroden zurückzuführen ist. Der grösste Werth, 0,0214 ist daher der wahrscheinlichste.

Tab. 2. Essigsäure, $CH^3.COOH$.

$\mu_\infty = 364$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	4.34	1.193	0.00180
16	6.10	1.673	0.00179
32	8.65	2.380	0.00182
64	12.09	3.33	0.00179
128	16.99	4.68	0.00179
256	23.82	6.56	0.00180
512	32.20	9.14	0.00180
1024	46.00	12.66	0.00177

$K = 0.00180$

Die Essigsäure, welche im Gegensatz zur Ameisensäure eine sehr beständige Verbindung ist, zeigt ein vollkommenes Gleichbleiben der Constanten. Der Werth derselben ist rund zwölfmal kleiner, als der der Ameisensäure.

Tab. 3. Propionsäure, $C^2H^5.COOH$.

$\mu_\infty = 359$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	3.65	1.016	0.00130
16	5.21	1.452	0.00134
32	7.36	2.050	0.00134
64	10.39	2.895	0.00135
128	14.50	4.04	0.00133
256	20.38	5.68	0.00133
512	28.21	7.86	0.00134
1024	38.73	10.79	0.00128

$K = 0.00134$

Während beim Uebergang der Ameisensäure in Essigsäure K auf ein Zehntel abnahm, bewirkt das am zweiten Kohlenstoffatom eintretende Methyl nur mehr eine Verminderung auf zwei Drittel.

Tab. 4. Buttersäure, $C^3H^7.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	3.800	1.068	0.00144
16	5.466	1.536	0.00150
32	7.704	2.165	0.00149
64	10.86	3.053	0.00150
128	15.27	4.292	0.00150
256	21.33	5.988	0.00149
512	29.52	8.300	0.00147
1024	40.62	11.41	0.00144

$K = 0.00149$

Tab. 5. Isobuttersäure, $(CH^3)^2CH.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	5.31	1.492	0.00141
32	7.51	2.111	0.00143
64	10.68	3.002	0.00145
128	14.90	4.197	0.00144
256	20.85	5.880	0.00143
512	28.92	8.165	0.00142
1024	39.97	11.25	0.00140

$K = 0.00144$

Tab. 6*). Valeriansäure, $C^4H^9.COOH$.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	7.94	2.243	0.00161
64	11.2	3.17	0.00162
128	15.7	4.44	0.00161
256	21.9	6.19	0.00159
512	30.4	8.59	0.00158
1024	41.9	11.83	0.00155

$K = 0.00161$

*) Alte Messungen.

Tab. 7. Capronsäure, $C^5H^{11}.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	7.45	2.12	0.00144
64	10.60	3.00	0.00145
128	14.89	4.21	0.00144
256	20.94	5.93	0.00146
512	29.00	8.21	0.00143
1024	40.31	11.45	0.00145

$K = 0.00145$

Die Werthe für die drei ersten Glieder der Fettsäurereihe nehmen ab; die anderen bewegen sich ohne erkennbare Regelmässigkeit innerhalb enger Grenzen auf und ab. Insbesondere erscheint auffällig, dass Buttersäure etwas stärker ist, als Propionsäure. Ein Irrthum ist hier ausgeschlossen, da meine neueren Messungen an neuen Präparaten Abweichungen in dem gleichen Sinne ergeben haben, wie frühere Versuche. Die Mittel der Constanten sind

Ameisensäure	0.0214
Essigsäure	0.00180
Propionsäure	0.00134
Buttersäure	0.00149
Isobuttersäure	0.00144
Valeriansäure	0.00161
Capronsäure	0.00145

8. Halogenderivate der Essigsäure. Die schon früher untersuchten drei Chloressigsäuren habe ich wieder gemessen, die Ergebnisse sind:

Tab. 8. Monochloressigsäure, $CH^2Cl.COOH$.

$\mu_\infty = 362.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	53.1	14.56	0.155
32	72.4	19.94	0.155
64	96.8	26.67	0.152
128	127.7	35.2	0.150
256	164.0	45.2	0.146
512	205.8	56.8	0.146
1024	249.2	68.7	0.147

$K = 0.155$

Auch die Monochloressigsäure wird durch die platinirten Elektroden allmählich verändert, so dass die Constante etwas abnimmt. Dass mit blanken Elektroden eine völlige Uebereinstimmung erreicht werden kann, haben van t'Hoff und Reicher[1]) gezeigt. Ich habe deshalb auf eine Wiederholung dieser Versuche verzichtet, und nehme 0.155 als den wahrscheinlichsten Werth der Constanten an.

Beim Vergleich mit Essigsäure ($K = 0.00180$) findet man eine Vergrösserung der Constanten auf den 86fachen Werth, welche durch den Eintritt des Chlors für Wasserstoff bedingt ist.

Tab. 9. Dichloressigsäure, $CHCl^2.COOH$.

$\mu_\infty = 361.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	253.1	70.2	5.17
64	290.7	80.5	5.20
128	317.5	88.0	5.04
256	337.0	93.4	5.16
512	352.2	97.6	—
1024	360.1	99.7	—

$K = 5.14$

Die beiden letzten Werthe sind so nahe an der Grenze, dass sie nicht mehr zur Berechnung von k herangezogen werden können; ein Fehler von 1% in der vorletzten Zahl würde die Constante um mehr als die Hälfte ihres Werthes beeinflussen.

Der Eintritt des zweiten Chloratoms hat eine weitere sehr erhebliche Vergrösserung zur Folge gehabt; das Verhältniss zur Monochloressigsäure ist 33.2, das zur Essigsäure 2390 : 1. Die verhältnissmässige Aenderung, welche durch den Eintritt des zweiten Chloratoms bedingt wird, ist daher nicht ganz so gross, wie die durch das erste.

Tab. 10. Trichloressigsäure, $CCl^3.COOH$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$
32	323.0	90.1
64	332.8	93.0
128	341.0	95.3
256	348.4	97.0
512	353.7	98.8
1024	356.0	99.4

1) Ztschr. f. phys. Ch. 2, 781. 1888.

Trichloressigsäure ist ihrem Grenzwerthe so nahe, dass eine Constante aus den beobachteten Zahlen nicht mehr mit Sicherheit berechnet werden kann. Zu einer genügenden Annäherung gelangt man indessen auf folgendem Wege. Die Inversion des Rohrzuckers in halbnormaler Lösung ergab für Dichloressigsäure die Geschwindigkeitsconstante 5.93, für Trichloressigsäure 16.47[1]). Nun stehen, wie bekannt, die Reactionsgeschwindigkeiten nahezu im Verhältnisse der relativen molekularen Leitfähigkeiten, es wird also bei $v = 2$ $m_3 = \frac{16.47}{5.93} m_2 = 2.78\, m_2$ sein, wo m_2 sich auf Di-, m_3 auf Trichloressigsäure bezieht. Andererseits gilt für erstere Säure die Formel $\frac{m^2}{1-m} = 0.000514\, v$, woraus für $v = 2$ $m_2 = 0.274$. Folglich ist $m_3 = 0.761$ für $v = 2$ und daraus folgt die Constante $\frac{(0.761)^2}{2(1-0.761)} = k$ zu $k = 1.211$ oder in den gewöhnlichen Einheiten $K = 121$. Der Werth ist um das 23.5fache grösser, als der für Dichloressigsäure. Beim successiven Eintritt der drei Chloratome ist also der Einfluss jedes derselben nicht gleich, sondern es findet eine stetige Abnahme desselben statt. Doch bleiben die Verhältnisszahlen 86, 33 und 24 von gleicher Grössenordnung. Bemerkenswerth ist noch der enorme Unterschied der Constanten für Essig- und Trichloressigsäure; sie sind 0.00180 und 121 und verhalten sich rund wie 1.5 : 1 000 000.

An die besprochenen Säuren schliesst sich die Monobromessigsäure.

Tab. 11. Monobromessigsäure, $CH^2Br.COOH$.

$\mu_\infty = 362$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	68.7	18.95	0.138
64	92.3	25.5	0.136
128	122.3	33.7	0.134
256	158.0	43.6	0.132
512	199.2	55.0	0.131
1024	241.2	66.6	0.130

$K = 0.138$

Die Leitfähigkeit kommt der der Monochloressigsäure, $K = 0.155$,

1) Ostwald, J. f. pr. Ch. (2) **29**, 385. 1884.

nahe, ist aber etwas geringer. Für die stetige Abnahme der Constanten gilt die oben gemachte Bemerkung.

9. Cyan- und Schwefelderivate der Essigsäure. Bereits in meiner früheren Abhandlung habe ich auf die ungewöhnlich beträchtliche Verstärkung hingewiesen, welche das Cyan in der Essigsäure bewirkt. Neuere Messungen ergaben:

Tab. 12. Cyanessigsäure, $CH^2CN.COOH$.

$\mu_\infty = 362.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	78.8	21.7	0.376
32	105.3	29.1	0.373
64	139.1	38.4	0.374
128	176.4	48.7	0.361
256	219.1	60.5	0.362
512	260.9	72.0	0.361
1024	297.3	82.1	0.368

$K = 0.370$

Die Constante ist 205mal grösser, als die der Essigsäure; die Wirkung ist somit fast dreimal stärker, als die, welche von Chlor ausgeübt wird.

Rhodanessigsäure stellte ich mir nach den Angaben von Claesson[1]) durch Einwirkung von Rhodankalium auf monochloressigsaures Natron dar. Das aus Alkohol umkrystallisirte Rhodanacetat wurde in Wasser gelöst, im Scheidetrichter mit Aether überschichtet, mit einer zur völligen Zersetzung nicht genügenden Menge verdünnter Schwefelsäure versetzt und augenblicklich ausgeschüttelt. Die abgetrennte Aetherlösung wurde alsbald mittelst eines kräftigen Luftstromes verdampft, wobei eine Umwandlung der Rhodanessigsäure in Carbaminthioglycolsäure durch die niedrige Temperatur wirksam vermieden werden konnte; der ätherfreie Rückstand endlich wurde in Wasser aufgenommen und alsbald zur Messung benutzt. Auf diese Weise konnten in verschiedenen Versuchen constante Zahlen erlangt werden, während anfänglich der leichte Uebergang in die viel schlechter leitende andere Säure kleinere und schwankende Zahlen bedingt hatte. Auch macht sich noch immer während der Messung selbst eine auf dieselbe Ursache zurückzuführende Abnahme der Constanten geltend (s. w. u.).

1) Ber. **10**, 1347. 1877.

Tab. 13. Rhodanessigsäure, $CH^2(SCN)COOH$.

$\mu_\infty = 362$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	94.4	25.25	0.267
64	122.0	33.71	0.268
128	156.6	43.3	0.258
256	197.4	54.5	0.255
512	239.0	66.0	0.250
1024	277.8	76.7	0.247

$K = 0.265$

Sowohl Cyan wie Rhodan wirkt stärker als Chlor; die Constanten der Chlor-, Rhodan- und Cyanessigsäure sind 0.155, 0.265 und 0.370. Besonders auffällig erscheint die geringere Wirkung des Rhodans dem Cyan gegenüber; der Eintritt des negativen Schwefelatoms wirkt schwächend. Eine Erklärung für diesen Umstand kann darin gesucht werden, dass in der Rhodanessigsäure das Cyan nicht mehr unmittelbar mit dem Kohlenstoff in Verbindung steht und seine Wirkung daher nur in geschwächtem Maasse geltend machen kann.

Die Rhodanessigsäure geht durch Wasseraufnahme sehr leicht in die Carbaminthioglycolsäure[1]), $CH^2(S.CO.NH^2)COOH$ über. Ich erhielt reichliche Mengen derselben durch Eindampfen der mit etwas Salzsäure versetzten Mutterlaugen von der Darstellung der Rhodanessigsäure und vielfaches Umkrystallisiren des Rückstandes aus Alkohol.

Tab. 14. Carbaminthioglycolsäure, $CH^2(S.CO.NH^2).COOH$.

$\mu_\infty = 360$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	15.59	4.34	0.0246
16	22.00	6.12	0.0250
32	30.49	8.48	0.0246
64	42.60	11.84	0.0249
128	58.36	16.29	0.0248
256	79.38	22.04	0.0243
512	106.0	29.55	0.0243
1024	136.8	38.10	(0.0232)

$K = 0.0246$

Durch die Aufnahme der Elemente des Wassers ist die Rhodan-

1) Nencki, Journ. f. pr. Ch. **16**, 11. 1877; Claesson, Ber. **10**, 1350. 1877.

essigsäure in eine weit schwächere Substanz übergegangen, was wohl wesentlich durch die Umwandlung des negativen Cyans in das basische, oder doch mindestens indifferente Carbamid bedingt ist. Immerhin wirkt das negative Schwefelatom aus grösserer Nähe acidificirend auf das Carboxyl, dass die Säure noch eine vierzehnmal grössere Constante besitzt, als ihre Muttersubstanz, die Essigsäure.

Um ein Bild von der Geschwindigkeit zu erhalten, mit welcher sich Rhodanessigsäure in Carbaminthioglycolsäure umwandelt, habe ich die Lösung, deren Leitfähigkeit Tab. 13 verzeichnet ist, nach fünftägigem Stehen bei Zimmertemperatur wieder gemessen.

Tab. 13a. Rhodanessigsäure, ältere Lösung.

32	34.5
64	48.8
128	66.5
256	89.7
512	119.4
1024	155.0

Wie man aus dem Vergleich dieser Zahlen mit denen der beiden vorstehenden Tabellen ersieht, schreitet die Umwandlung schon in verdünnter Lösung und bei Zimmertemperatur schnell vor; es haben sich hier mindestens 90 % Carbaminthioglycolsäure gebildet. Ich zweifle nicht, dass auch dieser Vorgang durch die Gegenwart fremder Säuren nach Maassgabe ihrer Affinitätscoefficienten beschleunigt werden wird.

Isomer mit der Rhodanessigsäure ist endlich die »Senfölessigsäure« von Volhard[1]), welche ich durch Einwirkung von Salzsäure auf Sulfhydantoin gewann. Die Substanz mit dem culinarischen Namen besitzt kaum saure Eigenschaften, denn sie erhöht das Leitvermögen des Wassers nur in geringem Grade. Ich beobachtete:

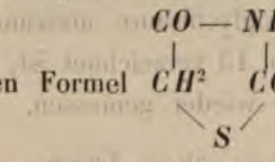
Tab. 15. Senfölessigsäure, $C^3H^3O^2SN$.

$\mu_\infty = 360.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	0.505	0.140	0.000024
16	0.734	0.204	0.000025
32	0.995	0.277	0.000023

$K = 0.000024$

1) Journ. f. pr. Ch. 9, 6. 1874.

Die Constante ist noch fast achtzigmal kleiner, als die der Essigsäure. Der gefundene Werth kann natürlich nur annähernde Geltung haben, da die Leitfähigkeit des Lösungswassers, sowie minimale Verunreinigungen so kleine Werthe in hohem Maasse beeinflussen. Er zeigt indessen mit Sicherheit, dass der fragliche Stoff keine eigentliche Säure ist, und spricht daher durchaus zu Gunsten der von Liebermann aufgestellten und von Hantzsch[1]) neuerdings eingehend begründeten Formel  eines Dioxythiazols; die schwach sauren Eigenschaften sind dem Imidwasserstoff zuzuschreiben.

Durch Destilliren von Essigsäure mit Schwefelphosphor und mehrmaliges Rectificiren des Productes konnte ich Thiacetsäure nicht in reinem Zustande gewinnen, da sie sich nicht vollständig von einem Gehalt an Essigsäure befreien liess. Wohl aber gelang dies, als die Säure mehrfach mit kleinen Mengen Wasser, in dem sie ziemlich schwer löslich ist, ausgeschüttelt wurde[2]). Die Leitfähigkeit wurde grösser und bald constant.

Tab. 16. Thiacetsäure, $CH^3.COSH$.

$\mu_\infty = 365.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	30.08	8.24	0.0462
32	42.05	11.53	0.0470
64	58.46	16.04	0.0478
128	79.84	21.90	0.0480
256	105.8	29.02	0.0464
512	139.1	38.20	0.0460
1024	176.8	48.50	0.0446

$K = 0.0469$

Der Ersatz des Sauerstoffs durch Schwefel im Hydroxyl hat, wie zu erwarten war, eine erhebliche Steigerung der sauren Eigenschaften zu Wege gebracht; die Constante ist von 0.00180 auf 0.0469, also um das 26fache gewachsen. Indessen wirkt selbst von dieser günstigen Stelle aus der Schwefel noch lange nicht so stark, wie

1) Ber. **20**, 3129. 1887.

2) Auf dies Hilfsmittel machte mich Dr. J. Wagner aufmerksam.

Chlor vom zweiten Kohlenstoffatom aus wirkt; die Constante der Monochloressigsäure, 0.155, ist noch dreimal grösser, als die der Thiacetsäure.

Weit geringer ist, wie erwartet werden darf, der Einfluss, welchen der Schwefel vom zweiten Kohlenstoffatom aus geltend macht. Thioglycolsäure wurde nach den Angaben von Claesson[1]) durch Eintragen von Monochloressigsäure in 2 Mol. Kaliumhydrosulfid, Eindampfen, Ausziehen mit starkem Alkohol, Zersetzen des Rückstandes der Alkohollösung mit unzureichender verdünnter Schwefelsäure und Ausschütteln mit Aether gewonnen. Man hat keine vollständige Sicherheit, dass man auf diesem Wege ein absolut reines Präparat gewinnt; insbesondere wird ein geringer Gehalt an Thiodiglycolsäure schwer ganz zu vermeiden sein. Doch leitet glücklicherweise diese Säure ziemlich ebenso (etwas stärker) wie Thioglycolsäure, so dass dadurch die Constante nicht erheblich beeinflusst werden kann.

Tab. 17. Thioglycolsäure, $CH^2(SH).COOH$.

$\mu_\infty = 360.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	20.94	5.82	0.0225
32	29.38	8.16	0.0226
64	40.70	11.30	0.0225
128	55.94	15.54	0.0224
256	75.90	21.08	0.0220
512	101.3	28.15	0.0215
1024	132.7	36.90	0.0211

$K = 0.0225$

Die äussersten Werthe der Constanten sind um etwa 6% verschieden. Da die Substanz durch freien Sauerstoff oxydirt wird, was unter dem Einfluss der platinirten Elektroden besonders leicht erfolgt, so halte ich die ersten Werthe, die unmittelbar nach der Zusammenstellung des Apparates erhalten wurden, für die sichersten.

Die Zahl 0.0225 übertrifft bei weitem die der Essigsäure, 0.00180; sie ist zwölfmal grösser. Ebenso ist sie höher als die der Glycolsäure, welche statt des Schwefels ein Atom Sauerstoff enthält, und deren Constante (s. w. u.) 0.0170, 1.4 mal weniger beträgt.

1) L. A. 187, 113. 1877.

Dagegen ist sie kleiner als die Constante 0.0469 der Thiacetsäure; sie beträgt annähernd die Hälfte derselben.

Beim Vergleich der Thioglycolsäure mit der Carbaminthioglycolsäure, $CH^2(SCONH^2)COOH$, findet man, dass der Ersatz des Wasserstoffs durch Carbamid, $CONH^2$, die Constante nur wenig geändert hat; der Unterschied zwischen 0.0242 und 0.0225 ist nicht erheblich. Somit wären dem Wasserstoff und dem Carbamid annähernd gleiche basische Eigenschaften zuzuschreiben.

10. Oxyessigsäure und ihre Abkömmlinge. Wie schon früher gefunden wurde, leitet Glycolsäure bedeutend besser, als Essigsäure. Neuere Messungen gaben:

Tab. 18. Glycolsäure, $CH^2OH.COOH$.

$\mu_\infty = 363$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	24.79	6.83	0.0151
64	34.35	9.46	0.0154
128	47.50	13.09	0.0154
256	64.78	17.85	0.0152
512	88.00	24.25	0.0152
1024	116.7	32.20	0.0149

$K = 0.0152$

Das Verhältniss gegen Essigsäure ($K = 0.00180$) ist 8 : 1.

Wird der Wasserstoff des Hydroxyls durch Alkoholradicale ersetzt, so resultiren Säuren, welche auffälliger Weise stärker sind, als die Glycolsäure selbst. Ich berechne hier meine älteren Messungen an Methyl- und Aethylglycolsäure.

Tab. 19*. Methylglycolsäure, $CH^2(OCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 358$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	25.3	7.07	0.0336
32	35.2	9.83	0.0336
64	48.6	13.53	0.0331
128	65.5	18.30	0.0321
256	88.1	24.60	0.0314
512	117	32.7	0.0310
1024	151	42.2	0.0301

$K = 0.0335$

In Rücksicht auf die mehrfach erwähnte Fehlerquelle ist $K = 0.0335$ gesetzt worden; der Werth ist annähernd doppelt so gross, wie der der Glycolsäure.

Tab. 20*. Aethylglycolsäure, $CH^2(OC^2H^5).COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	21.1	5.93	0.0234
32	29.5	8.29	0.0234
64	40.9	11.49	0.0229
128	56.0	15.75	0.0230
256	76.3	21.44	0.0229
512	103	29.0	0.0231
1024	134	37.7	0.0223

$K = 0.0234$

Auch Aethyl verstärkt die Glycolsäure, wenn auch weniger als Methyl; das Verhältniss ist 1.5. Zwischen Aethyl- und Methylglycolsäure besteht das Verhältniss 1.43, ziemlich nahe dem zwischen Propion- und Essigsäure, 1.35.

Phenyl an derselben Stelle bringt wegen seines negativen Charakters eine weit stärkere Zunahme der Constanten hervor. Neuere Messungen gaben:

Tab. 21. Phenylglycolsäure, $CH^2(OC^6H^5)COOH$.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	51.20	14.51	0.0770
64	69.48	19.70	0.0756
128	94.20	26.70	0.0761
256	124.6	35.33	0.0754
512	160.7	45.55	0.0745
1024	202.2	57.30	0.0751

$K = 0.0756$

Die Constante ist fünfmal grösser, als die der Glycolsäure.

Eine weitere Vermehrung der Zahl tritt ein, wenn negative Radicale in das Phenyl eingeführt werden. Ich habe nach den Angaben von Fritzsche[1]) durch Erhitzen von Monochloressigsäure mit

1) Journ. f. pr. Ch. **20**, 283. 1879.

Ortho-, resp. Paranitrophenol und 2 Mol. concentrirter Kalilauge die entsprechenden Nitrophenylglycolsäuren dargestellt, wobei zu erwähnen ist, dass man die besten Ausbeuten erhält, wenn man concentrirte Kalilauge in berechneter Menge auf einmal zu dem geschmolzenen Gemenge von Monochloressigsäure und Phenol hinzufügt; unter heftigem Aufkochen vollzieht sich dann die Reaction in wenigen Augenblicken. Ein Ueberschuss von Kali ist zu vermeiden.

Tab. 22. *o*-Nitrophenylglycolsäure, $CH^2(OC^6H^4NO^2).COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	95.05	27.1	0.158
128	125.9	35.9	0.157
256	162.9	46.5	0.158
512	204.0	58.2	0.158
1024	244.6	69.7	0.157

$K = 0.158$

Die Constante ist auf das Doppelte gegen die der Muttersubstanz erhöht. In der Benzoesäure bedingt der Eintritt des Nitrils in die Orthostellung zum Carboxyl eine unvergleichlich viel stärkere Zunahme (s. w. u.); der geringe Betrag in dem vorliegenden Falle erklärt sich leicht aus der weiteren Entfernung zwischen dem Nitril und dem Säurewasserstoff.

Ebenfalls eine Verstärkung, aber in etwas geringerem Maasse, bewirkt der Eintritt des Nitrils in die Parastellung.

Tab. 23. *p*-Nitrophenylglycolsäure, $CH^2(OC^6H^4NO^2)COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	125.6	35.8	0.156
256	161.5	46.1	0.154
512	201.1	57.5	0.152
1024	241.6	69.0	0.150

$K = 0.153$

Die Zahl kommt der der Orthosäure sehr nahe, während bei der Benzoesäure die Substitution in der *o*- und *p*-Stellung sehr bedeutende Verschiedenheiten bedingt. Es ist daraus zu vermuthen, dass bei der Phenylglycolsäure die *o*- und *p*-Stelle des Phenyls in annähernd gleicher Lage oder Entfernung zum Säurewasserstoff sich befinden.

II. Diglycolsäuren. Bei früherer Gelegenheit hatte ich bereits auf die merkwürdige Thatsache hingewiesen, dass die Diglycolsäure besser leitet, als die Thiodiglycolsäure. Durch den gegenwärtig erbrachten Nachweis, dass im Gegensatz hierzu, und in Uebereinstimmung mit naheliegenden Voraussetzungen Thioglycolsäure stärker ist, als Glycolsäure, ist jener Widerspruch noch auffälliger geworden. Ich habe es daher der Mühe werth gehalten, meine früheren Messungen an neuen Präparaten zu wiederholen, habe aber nur eine vollständige Bestätigung derselben erhalten.

Diglycolsäure lässt sich leicht und in fast theoretischer Ausbeute gewinnen, wenn man in eine filtrirte heisse Lösung von 3 Th. Barytkrystallen in 10 Th. Wasser 1 Th. Monochloressigsäure einträgt und das Ganze in gelindem Sieden erhält. Nach einer Viertelstunde beginnt diglycolsaurer Baryt sich als grobkrystallinisches Pulver auszuscheiden und nach zwei Stunden ist die Ausscheidung vollendet. Man lässt erkalten, wäscht das in Wasser nahezu unlösliche Barytsalz gut aus und zersetzt es mit verdünnter Schwefelsäure, von der man einen Ueberschuss vermeidet.

Thiodiglycolsäure gewann ich nach den Angaben von Lovén[1]) aus monochloressigsaurem Natron und Schwefelnatrium.

Tab. 24. Diglycolsäure, $\ddot{O}(CH^2.COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	82.0	23.05	0.108
128	111.0	31.1	0.110
256	145.6	40.9	0.111
512	189.0	53.1	0.128
1024	239.6	67.3	0.135
2048	293.3	82.5	0.190

$K = 0.11$

Entsprechend der zweibasischen Natur der Säure sind die Werthe von K, wie sie gemäss der für binäre Elektrolyte gültigen Formel berechnet sind, nicht constant, sondern sie nehmen erst langsam und dann schneller zu. Die Ursache davon ist, dass zweibasische Säuren zunächst allerdings binär elektrolysirt werden; sie zerfallen nach dem

1) Ber. 17, 2818. 1884.

Schema $H \mid HA''$; bei steigender Dissociation aber beginnt auch die Theilmolekel HR'' ihrerseits zu zerfallen und sich an der Dissociation zu betheiligen. Es handelt sich also in diesen Fällen nicht sowohl um ternäre Elektrolyten, für welche die Dissociationsformel $\frac{p^3}{P} = \text{const.}$ oder $\frac{m^3}{(1-m)v^2} = \text{const.}$ gültig wäre (in der That stimmt auch diese Formel keineswegs mit den Beobachtungen), sondern um die Superposition zweier binärer Dissociationen, welche dadurch besonders verwickelt werden, dass die Gesammtmenge des zweiten sich dissociirenden Stoffes eine Function des Dissociationszustandes des ersten ist, welcher Dissociationszustand seinerseits wieder von dem des zweiten Stoffes beeinflusst wird. Ich habe die rechnerische Erörterung dieses Falles zur Zeit nicht vorgenommen, weil die auf Grund der einfachen Formel möglichen Schätzungen für den zunächst vorliegenden Zweck genügen.

Darnach ist für die erste Stufe der Dissociation der Diglycolsäure die Constante auf rund 0.10 zu schätzen.

Tab. 25. Thiodiglycolsäure, $S(CH^2COOH)^2$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	41.9	11.70	0.0485
64	58.2	16.17	0.0488
128	80.1	22.38	0.0504
256	108.6	30.40	0.0518
512	145.0	40.5	0.0538
1024	190.0	53.2	0.0592
2048	243.6	67.8	0.0698

$K = 0.048$

Das Anwachsen von K macht sich hier wie bei der Diglycolsäure in erheblicher Weise erst geltend, nachdem die Leitfähigkeit etwa die Hälfte ihres Maximalwerthes erreicht hat. Die Constante ist annähernd halb so gross, wie die der Diglycolsäure.

Da Schwefel im Allgemeinen negativer wirkt, als Sauerstoff, und da insbesondere Thioglycolsäure stärker ist, als Glycolsäure, so ist der gefundene Thatbestand sehr merkwürdig. Man kann kaum die Vermuthung abweisen, dass die Ursache in vorhandenen räumlichen Verhältnissen liegt. Die beiden Carboxyle in den besprochenen

Säuren beeinflussen einander nämlich sehr merklich; die Constante der Diglycolsäure ist sechs bis siebenmal grösser, als die der Glycolsäure, andererseits übertrifft die der Thiodiglycolsäure noch um etwas mehr als das doppelte die der Thioglycolsäure. Dass in beiden Fällen der gegenseitige Einfluss aber so verschieden ist, lässt vermuthen, dass die beiden Essigsäurereste und somit ihre Carboxyle durch das Sauerstoffatom in grössere Nähe gezwungen werden, als durch das Schwefelatom, dass an letzterem somit die in Frage kommenden Verbindungspunkte weiter auseinander liegen, als bei ersterem.

Führt man noch ein weiteres Schwefelatom ein, wie es in der Dithiodiglycolsäure vorhanden ist, so wird die Wirkung eine doppelte sein. Einerseits werden die beiden Carboxyle noch weiter von einander entfernt, und die Säure wird dadurch geschwächt. Andererseits aber bedingt die Vermehrung des negativen Schwefels wieder eine Stärkung. Nun ist schon in der Thioglycolsäure die gegenseitige Einwirkung beider Carboxyle nicht mehr sehr gross (auf gleiche Aequivalente bezogen sind die Leitfähigkeiten fast gleich); es lässt sich also erwarten, dass der zweite Einfluss überwiegen wird, wie es auch die Messung ergab.

Ich stellte Dithiodiglycolsäure nach den Angaben von Claesson[1]) durch Behandeln einer Lösung von thioglycolsaurem Natron mit Jod her. Da hierbei eine der entstehenden Dithiodiglycolsäure äquivalente Menge Jodwasserstoff entsteht, so unterliess ich vor dem Ausschütteln mit Aether jeden weiteren Säurezusatz. Man verliert dadurch allerdings etwas Substanz, gewinnt diese aber alsbald völlig frei von fremden Säuren.

Tab. 26. Dithiodiglycolsäure, $S^2(CH^2COOH)^2$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	49.3	13.70	0.0680
64	67.9	18.85	0.0685
128	92.9	25.81	0.0702
256	125.5	34.9	0.0731
512	164.9	45.8	0.0756
1024	215.6	59.9	0.0874
2048	272.9	75.8	0.1158

$K = 0.065$

1) Ber. 14, 410. 1881.

Die Constante ist gegen die der Thioglycolsäure etwas in die Höhe gegangen, doch nicht sehr erheblich. Es trägt somit in der That die Stärkung durch das zweite Schwefelatom mehr aus, als die Schwächung durch die grössere Entfernung der Carboxyle.

An die Glycolsäure schliesst sich endlich noch die Glyoxalsäure, *CHO.COOH*, von der ich meine älteren Messungen berechnen muss, da ich den Stoff eben nicht zur Verfügung habe.

Tab. 27*. Glyoxalsäure, *CHO.COOH*.

$\mu_\infty = 361$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	30.2	8.34	0.0474
32	41.7	11.55	0.0472
64	57.3	15.88	0.0469
128	77.8	21.56	0.0464
256	104	28.7	0.0452
512	136	37.7	0.0446
1024	174	48.2	0.0438

$K = 0.0474$

Bei höheren Verdünnungen zeigt sich wieder die durch die Unreinheit des früher benutzten Wassers bedingte Abnahme der Constanten, und die ersten Werthe sind als die zuverlässigsten anzusehen.

Es ist schon früher betont worden, dass die Leitfähigkeit gering erscheint. Die Constanten sind: Essigsäure = 0.00180, Glycolsäure = 0.152, Glyoxalsäure = 0.474. Während also das erste Hydroxyl eine Verstärkung auf das achtfache hervorgerufen hat, rührt von dem zweiten nur mehr eine Verstärkung wie 1 : 3.1 her. Indessen ist dies Verhältniss dem der Essigsäure, Mono- und Dichloressigsäure 1 : 86 und 1 : 33 ähnlich; in beiden Fällen beeinträchtigt der vorhandene Substituent deutlich die Wirkung des neu eintretenden. In dem vorliegenden Falle ist es zudem noch zweifelhaft, ob die wässerige Glyoxalsäure Dioxyessigsäure, $CH(OH)^2COOH$ ist, oder ihr Anhydrid *CHO.COOH*, wiewohl ich ersteres für wahrscheinlicher halte.

12. Abkömmlinge der Amidoessigsäure. Aus der Amidoessigsäure, welche nicht mehr eine Säure genannt werden kann, entstehen durch den Ersatz des Amidwasserstoffs durch negativere Radicale wohl charakterisirte Säuren. Schon der Eintritt einer Phenyl-

gruppe bringt diese Wirkung hervor. Ich stellte mir Phenylamidoessigsäure durch Zusammenschmelzen von Monochloressigsäure mit Anilin, Ausfällen mit einer bemessenen Menge Salzsäure und vielfaches Umkrystallisiren dar.

Tab. 28. Phenylamidoessigsäure, $CH^2(NHC^6H^5).COOH$.

$\mu_\infty = 350$.

v	μ	100 m	100 k
32	42.30	3.52	0.00401
64	47.00	4.84	0.00385
128	53.46	6.70	0.00376
256	62.96	9.40	0.00381
512	76.32	13.24	0.00395
1024	93.53	18.45	0.00393

$K = 0.00390$

Das positivere Amid ist durch das negative Phenyl nicht nur compensirt, sondern sogar übercompensirt worden, denn die Anilidoessigsäure ist stärker, als ihre Muttersubstanz ($K = 0.00180$).

Noch erheblicher ist die negative Wirkung des Benzoyls an derselben Stelle, in der Hippursäure. Von diesem Stoffe stand mir eine besonders interessante Probe zur Verfügung. In der von O. L. Erdmann hinterlassenen, gegenwärtig an mein Institut übergegangenen Präparatensammlung fand sich nämlich ein Originalspecimen aus der Untersuchung von Erdmann und Marchand [1]) über die Umwandlung der Zimmtsäure in Hippursäure beim Durchgang durch den menschlichen Organismus; auf dem Glase sind neben Marchand die sämmtlichen übrigen Autoren der in schönen schneeweissen Krystallen erhaltenen Substanz verzeichnet.

Tab. 29. Hippursäure, $CH^2(NHCOC^6H^5).COOH$.

$\mu_\infty = 350$.

v	μ	100 m	100 k
32	28.2	8.07	0.0221
64	39.4	11.23	0.0222
128	54.3	15.54	0.0222
256	74.0	21.15	0.0222
512	99.8	28.66	0.0225
1024	131.1	37.51	0.0220

$K = 0.0222$

1) J. pr. Ch. **26**, 491. 1842.

Ich habe mich durch den Vergleich mit gewöhnlicher Hippursäure überzeugt, dass die untersuchte Probe kein abweichendes Leitvermögen aufwies. Die Constante ist weit grösser, als die der Essigsäure und der Anilidoessigsäure; das Verhältniss zur ersteren ist 12.3.

Die der Hippursäure analoge Acetursäure, $CH^3.CO.NHCH^2.COOH$, leitet, wie schon früher bemerkt, etwas besser, als Hippursäure, obwohl Essigsäure schwächer ist, als Benzoesäure. Die Berechnung der älteren Messungen nach der Dissociationsformel zeigt, dass das Verhalten nicht etwa durch Unreinheit der untersuchten, von mir selbst hergestellten Probe bedingt ist; die Grösse k zeigt sich zunächst völlig constant und nimmt erst bei grösserer Verdünnung infolge des unreinen Wassers ab.

Tab. 30*. Acetursäure, $C^2H^3ONHCH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	20.9	5.89	0.0230
32	29.2	8.22	0.0230
64	40.5	11.40	0.0230
128	55.6	15.67	0.0228
256	75.4	21.25	0.0225
512	101	28.5	0.0222
1024	133	37.5	0.0220

$K = 0.0230$

Eine bedeutend erheblichere Verstärkung wird endlich bewirkt, wenn die beiden Amidwasserstoffatome des Glycocolls durch den Phtalsäurerest ersetzt werden. Ich stellte nach den Angaben von Drechsel[1]) die Phtalamidoessigsäure durch Erhitzen von Glycocoll mit Phtalsäureanhydrid her; sie ergab:

Tab. 31. Phtalamidoessigsäure, $C^6H^4C^2O^2NCH^2COOH$.

$\mu_\infty = 351$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	27.6	22.1	0.098
128	104.2	29.7	0.098
256	140.0	39.7	0.102
512	178.5	50.6	0.101
1024	220.9	62.4	0.101

$K = 0.100$

1) Journ. f. pr. Chemie **27**, 418. 1883.

Dieser Abkömmling der indifferenten Amidoessigsäure gehört, wie man sieht, zu den stärkeren Säuren; die Constante nähert sich der der Monochloressigsäure, 0.15.

13. Abkömmlinge der Propionsäure. Neuere Messungen an Milchsäure ergaben:

Tab. 32. Milchsäure, $CH^3.CH(OH).COOH$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	11.67	3.263	0.0137
16	16.46	4.601	0.0139
32	23.11	6.46	0.0139
64	32.21	9.00	0.0139
128	44.17	12.37	0.0137
256	60.23	16.80	0.0133
512	82.20	22.96	0.0134
1024	109.7	30.93	0.0135

$K = 0.0138$

Das Verhältniss gegen Propionsäure ist 1 : 10, etwas grösser, als das zwischen Essigsäure und Glycolsäure 1 : 7.5.

Tab. 33*. β-Oxypropionsäure, $CH^2(OH).CH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	7.88	2.20	0.00309
32	11.10	3.10	0.00310
64	15.7	4.39	0.00315
128	21.9	6.12	0.00311
256	30.5	8.53	0.00311
512	42.3	11.81	0.00309
1024	57.8	16.15	0.00304

$K = 0.00311$

Der geringere Einfluss des Hydroxyls von der β-Stellung aus tritt in den Constanten deutlich zu Tage; wir haben

Propionsäure	0.00134
α-Oxypropionsäure	0.0138
β-Propionsäure	0.00311

Auch für die Glycerinsäure lassen sich die älteren Messungen noch gut verwerthen; sie geben:

Tab. 34*. Glycerinsäure, $CH^2OH.CHOH.COOH$.

$\mu\infty = 357$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	20.9	5.86	0.0228
32	29.2	8.20	0.0229
64	40.5	11.35	0.0227
128	55.8	15.64	0.0227
256	76.0	21.30	0.0225
512	102	28.6	0.0224
1024	135	37.9	0.0226

$K = 0.0228$

Die Aenderung, welche die Milchsäure beim Uebergang in Glycerinsäure erfährt, ist analog der zwischen Propion- und β-Oxypropionsäure. Die Verhältnisse sind in beiden Fällen 1 : 1.7 und 1 : 2.3. Ebenso wie bei den Chloressigsäuren wirkt das in zweiter Linie eintretende Radical etwas schwächer, als wenn es allein vorhanden ist, doch sind die verhältnissmässigen Einflüsse beidenfalls von gleicher Grössenordnung.

Die an beide eben besprochenen Stoffe sich anschliessende Brenztraubensäure habe ich zwar untersucht, aber ohne ein anderes Ergebniss, als dass gegenwärtig kein Verfahren bekannt ist, nach welchem man reine Brenztraubensäure erhalten kann. Alle Proben, die ich theils kaufte, theils selbst darstellte oder darstellen liess, gaben mit der Verdünnung abnehmende Constanten, erwiesen sich somit als Gemenge. Wiederholte Destillationen änderten zwar die Leitfähigkeit, ergaben aber keine bessere Constanz; eine Reinigung durch Salze ist gleichfalls ausgeschlossen. Der ungefähre Werth der Constanten lag bei 0.3. Im Anschluss an die analoge Glyoxalsäure wäre ein viel kleinerer Werth, 0.04 bis 0.045 zu erwarten. Eine sehr grosse Leitfähigkeit muss dagegen der von Brenztraubensäure durch ein Minus der Elemente des Wassers verschiedenen Propiolsäure, $CH \equiv C.COOH$, zukommen, deren Entstehung aus jener oder gleichzeitig mit derselben aus Weinsäure unter Abspaltung von Wasser (ev. neben Kohlensäure) keineswegs unwahrscheinlich ist und von der eine relativ geringe Beimengung eine bedeutende Er-

höhung der Leitfähigkeit bedingen würde. Neben dieser Möglichkeit ist aber immerhin noch die andere zu erwägen, dass die Brenztraubensäure $CH^3.CO.COOH$ auch in wässeriger Lösung nicht in die α-Dioxypropionsäure, $CH^3C(OH)^2COOH$, übergeht, und somit auch nicht die entsprechende Leitfähigkeit aufweist.

Analog der Brenztraubensäure ist die Lävulinsäure, $CH^3.CO.CH^2.CH^2.COOH$. Ich untersuchte eine Probe in grossen wasserklaren Krystallen (von Th. Schuchardt bezogen), welche folgende Werthe ergab:

Tab. 35. Lävulinsäure, $C^4H^7O.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	7.00	1.99	0.00253
32	9.92	2.82	0.00256
64	13.92	3.96	0.00255
128	19.52	5.54	0.00254
256	27.17	7.72	0.00253
512	37.92	10.76	0.00254
1024	52.51	14.94	0.00256

$K = 0.00255$

Der Eintritt des Acetyls in die β-Stelle hat die Propionsäure im Verhältniss 1 : 1.9 stärker gemacht. Im Vergleich mit der Glyoxal- und Brenztraubensäure ist die Wirkung der Carbonylgruppe äusserst geringfügig geworden, denn die Muttersubstanz, die normale Capronsäure, leitet höchstens zweimal schlechter, als Lävulinsäure, während das Verhältniss zwischen Essig- und Glyoxalsäure 1 : 26 ist. Es ist dies ein neues Beispiel für den Einfluss der näheren oder entfernteren Stellung des substituirenden Radicals.

Eine gleiche Erscheinung zeigt sich, wie schon früher hervorgehoben wurde, an den halogensubstituirten Propionsäuren. Beim Versuch, aus meinen früheren Messungen an der α-Brompropionsäure die entsprechende Constante zu berechnen, ergab sich mit Evidenz die schon damals wegen der Selbstzersetzung beim Destilliren vermuthete unzulängliche Reinheit der Substanz. Ich verzichte daher auf die Wiedergabe der Rechnungen; man wird sicher nicht weit fehlgehen, wenn man annähernd die für Bromessigsäure gefundene Constante 0.138 oder einen etwas kleineren Werth als für die α-Brompropionsäure giltig annimmt.

Dagegen ergab sich bei der leicht rein zu erhaltenden β-Jodpropionsäure eine genügende Uebereinstimmung der Constanten bei grösserer Concentration, so dass ich meine älteren Messungen beibehielt. Bei grösserer Verdünnung nehmen die Constanten wie gewöhnlich ab.

Tab. 36*. β-Jodpropionsäure, $CH^2J.CH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	13.3	3.72	0.0090
32	18.6	5.20	0.0089
64	25.9	7.24	0.0088
128	35.9	10.03	0.0088
256	49.3	13.76	0.0086
512	67.3	18.80	0.0085
1024	90.7	25.34	0.0084

$K = 0.0090$

Die geringe Wirkung des Jods von der β-Stelle aus ist offenbar, die Constante hat nur den 6.5fachen Werth angenommen, statt des 60 bis 80fachen, den das Jod von der α-Stelle aus bewirkt hätte.

Für Trichlormilchsäure (aus Chloral und Blausäure; das Präparat stammte von Schuchardt) endlich erhielt ich:

Tab. 37. Trichlormilchsäure, $CCl^3.CH(OH)COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	115.1	32.3	0.482
64	149.9	41.8	0.470
128	187.0	52.6	0.456
256	238.4	64.2	0.453
512	266.0	75.7	0.461
1024	302.2	84.9	0.466

$K = 0.465$

Gegenüber der Milchsäure ($K = 0.0138$) ist die Constante durch die drei in β-Stellung eingetretenen Chloratome auf den 33.7fachen Werth gestiegen. In der Essigsäure bewirken drei Chloratome am α-Kohlenstoff eine Vermehrung wie 1 : 67 000. Der Unterschied infolge der näheren und entfernteren Substitution ist enorm.

Nimmt man an, dass die drei Chloratome der Trichlormilchsäure

in je gleichem Verhältniss die Constante beeinflussen, so käme auf ein Chloratom eine Wirkung gleich $\sqrt[3]{33.7} = 3.2$; um so viel müsste die Monochlormilchsäure stärker sein, als die Milchsäure. Indessen ist diese Annahme unrichtig; der Einfluss des ersten Chloratoms ist bedeutend grösser, als der des zweiten und dritten. Aus den Verhältnissen an den Chloressigsäuren lässt sich leicht berechnen, dass er sehr nahe doppelt so gross ist, wie die dritte Wurzel aus der Verhältnisszahl zwischen Essig- und Trichloressigsäure. Somit wäre zu erwarten, dass die Monochlormilchsäure eine etwa 6.4 mal grössere Constante haben wird, als die Milchsäure. Dasselbe Verhältniss (1 : 6.7) besteht zwischen den analogen Stoffen Propionsäure und β-Jodpropionsäure.

14. Abkömmlinge höherer Fettsäuren. Eine von Kahlbaum bezogene Trichlorbuttersäure gab:

Tab. 38. Trichlorbuttersäure, $C^3H^4Cl^3.COOH$.

$\mu_\infty = 352$.

v	μ	m
32	288.5	82.0
64	308.7	87.7
128	322.8	91.7
256	333.3	94.8
512	339.7	96.5
1024	343.1	97.5

$K = 10$

Die Säure leitet sehr gut; ihre Leitfähigkeit steht der der Trichloressigsäure ziemlich nahe und ist so hoch, dass eine sichere Berechnung der Constanten nicht mehr möglich ist; ihr Werth wird auf etwa 10 fallen, während der der Trichloressigsäure etwa 120 ist. Daraus geht hervor, dass die drei Chloratome jedenfalls eine zum Carboxyl möglichst nahe Stellung einnehmen.

Für die Constitution der vorliegenden, aus Butylchloral, resp. Aldehyd gewonnenen Säure wurde früher die Formel $CH^3.CCl^2.CHCl.COOH$ angenommen[1]). Gegenwärtig ist durch Untersuchungen von mehreren Seiten[2]) erwiesen, dass diese Annahme falsch ist; in Ueber-

1) Beilstein's Handb., erste Aufl. **1**, 269.

2) z. B. Lieben und Zeisel, Monatsh. **4**, 536. 1883.

einstimmung mit den Ergebnissen der obigen Messungen muss man der Substanz die Formel $CH^3CHCl.CCl^2.COOH$ zuschreiben. Denn ein Chloratom in der α-Stelle und zwei in der β-Stelle würden die Constante der Buttersäure, 0.0015, auf etwa $0.0015 \times 80 \times 3 \quad 2 = 0.7$ bringen, während für zwei α- und ein β-Chloratom $0.0015 \times 2860 \times 2 = 8.6$ sich schätzen lässt. Der Unterschied beider Zahlen ist gross genug, um trotz der Unsicherheit der Schätzung, die vielleicht bis zu 50 Proc. der Werthe geht, jeden Zweifel auszuschliessen, dass nur die zweite Annahme den Messungen entspricht, welche $K = 10$ gegeben haben.

Käufliche Oxyisobuttersäure, mehrfach aus Aether umkrystallisirt, ergab folgende Zahlen:

Tab. 39. Oxyisobuttersäure, $(CH^3)^2CH(OH)COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	20.05	5.65	0.0106
64	28.05	7.91	0.0106
128	38.86	10.95	0.0105
256	53.91	15.20	0.0106
512	73.49	20.70	0.0106
1024	99.52	28.05	0.0106

$K = 0.0106$

Die Constante ist etwas kleiner, als die der Milchsäure ($K = 0.0138$), während umgekehrt Propionsäure eine etwas kleinere Constante als Isobuttersäure hat. Es macht sich im gegenwärtigen Falle wahrscheinlich ein Einfluss der beiden Methylgruppen auf das Hydroxyl geltend, welcher dessen Einwirkung auf das Carboxyl hemmt.

Die in meiner früheren Abhandlung gefundene Kreuzung der Curven für Milchsäure und Oxyisobuttersäure findet thatsächlich nicht statt, und war, wie ich auch seinerzeit vermuthete, durch unzulängliche Reinheit der letzteren veranlasst. Auch bei meinen jetzigen Messungen erhielt ich zunächst ähnliche Werthe, wie früher. Dieselben ergaben aber die Constante stark abnehmend und wiesen dadurch auf mangelnde Reinheit hin. Durch mehrfaches Umkrystallisiren verminderte sich die Leitfähigkeit zuerst etwas und blieb dann weiterhin unverändert, zum Zeichen, dass die Verunreinigung beseitigt war; gleichzeitig verschwand die Veränderlichkeit der Werthe für K. Es

ist dies ein weiteres Beispiel dafür, dass in dem Verdünnungsgesetz ein ungemein nützliches Kriterium für die Reinheit der untersuchten Stoffe liegt.

In einer schönen Sammlung von Säuren aus Kampher, welche ich der Güte J. Kachler's verdanke, befanden sich die bei der Behandlung der Mutterlaugen von der Darstellung der Kamphersäure mit Salpetersäure erhaltenen nitrirten Capronsäuren. Sie gaben folgende Leitfähigkeiten:

Tab. 40. Mononitrocapronsäure, $C^5H^{10}NO^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	29.90	8.50	0.0123
128	41.56	11.80	0.0123
256	56.66	16.11	0.0121
512	76.62	21.80	0.0119
1024	102.5	29.17	0.0117
2048	135.2	38.45	0.0117

$K = 0.0123$

Die Mononitrocapronsäure leitet 8.5 mal besser, als ihre Muttersubstanz, deren Constante 0.00145 ist. Hält man sich gegenwärtig, dass nach den Erfahrungen in der Benzoesäurereihe die Nitrogruppe eine weit grössere Verstärkung der sauren Eigenschaften bewirkt, als Chlor, Brom oder Jod, und dass andererseits die Halogene in der α-Stellung die Constante auf etwa den 80fachen Werth erhöhen, so muss man schliessen, dass in der vorliegenden Säure das Nitryl sicher nicht in der α-Stellung, sehr wahrscheinlich aber in der β-Stellung zum Carboxyl steht. Mit letzterem Ergebniss stimmt überein, dass die Constante der β-Jodpropionsäure nur etwa sechsmal grösser ist, als die der Propionsäure; das Verhältniss ist also, wie zu erwarten, etwas kleiner, als bei der Nitrosäure.

Zu demselben Ergebniss ist seinerzeit[1]) J. Kachler aus chemischen Wahrscheinlichkeitsgründen gelangt.

---

1) L. A. **191**, 173. 1878.

Tab. 41. Binitrocapronsäure, $C^5H^9(NO^2)^2.COOH$.

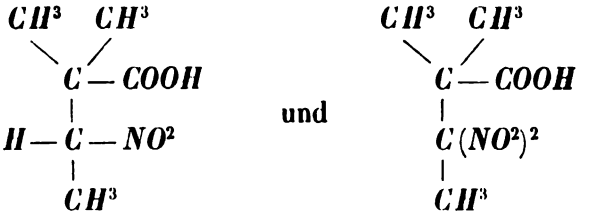
$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	90.77	25.9	0.0707
256	119.6	34.2	0.0694
512	155.2	44.4	0.0692
1024	195.2	55.8	0.0688
2048	236.5	67.6	0.0690

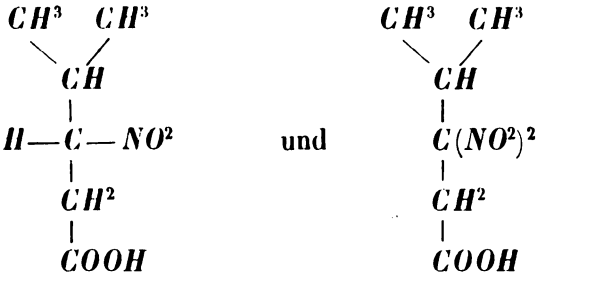
$K = 0.0694$

Dieser gleichfalls von Kachler erhaltene Stoff ergiebt eine 5.6 mal grössere Constante, als die Mononitrosäure. Entsprechend der allgemeinen Erfahrung, dass das zweite an analoger Stelle eintretende Radical eine etwas geringere Aenderung, aber von gleicher Grössenordnung, ergiebt, wie das erste, ist auch die zweite Nitrogruppe der Säure in der β-Stellung zum Carboxyl anzunehmen. Ob es an demselben Kohlenstoffatom sich befindet, wie das erste, lässt sich aus den Zahlen nicht absehen.

Von J. Kachler sind (a. a. O.) als wahrscheinlichste Formeln der beiden Säuren die Ausdrücke



gegeben worden. Sie entsprechen dem Ergebniss, dass beide Nitrogruppen in der β-Stellung stehen und sind somit mit meinen Versuchen in Uebereinstimmung. Ausserdem wäre nur noch die Formulirung



möglich, welche der von Kachler beobachteten glatten Bildung von

Methylisopropylketon gleichfalls Rechnung trägt. Zwischen diesen beiden Möglichkeiten geben meine Messungen keine Entscheidung.

Ueber die gleichfalls hierhergehörige Lävulinsäure ist bereits oben (S. 29) das Erforderliche mitgetheilt worden.

15. Geometrische Isomerie. Die von van t'Hoff und Le Bel aufgestellte Hypothese von der tetraedrischen Anordnung der vier Valenzen am Kohlenstoffatom hat in neuester Zeit von J. Wislicenus[1]) eine Vertiefung und Erweiterung erfahren, durch welche eine grosse Anzahl bis dahin unverstanden gebliebener Erscheinungen auf die glücklichste Weise als nothwendige oder wahrscheinliche Folgen einfacher und anschaulicher Grundannahmen dargestellt werden konnten. Aus diesen Annahmen lassen sich nun auch in Bezug auf die Unterschiede, welche die Leitfähigkeiten isomerer Verbindungen zeigen müssen, bestimmte Schlüsse ziehen, deren Prüfung an der Erfahrung wieder rückwärts Licht auf die Zweckmässigkeit jener Hypothesen werfen musste.

Ich verdanke der Güte meines verehrten Freundes Wislicenus eine Anzahl von entsprechenden Präparaten, aus deren Untersuchung sich Folgendes ergab:

Tab. 42. Crotonsäure, $\begin{matrix} CH^3 \\ H \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} COOH \\ H \end{matrix}$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	4.38	1.225	0.00204
16	6.27	1.760	0.00199
32	8.91	2.510	0.00203
64	12.62	3.54	0.00205
128	17.78	4.98	0.00206
256	25.00	7.01	0.00210
512	34.60	9.69	0.00205
1024	47.52	13.32	0.00200

$K = 0.00204$

1) Abh. der Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. **24**, 1. 1887.

Tab. 43. Isocrotonsäure, $\begin{matrix} H \\ CH^3 \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} COOH \\ H \end{matrix}$.

$\mu\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
8	5.897	1.652	0.00347
16	8.205	2.300	0.00338
32	11.27	3.16	0.00332
64	15.51	4.35	0.00309
128	21.33	5.98	0.00297
256	29.29	8.21	0.00287
512	40.39	11.31	0.00282
1024	55.51	15.56	0.00280

$K = 0.00360$

Bekanntlich giebt es bisher kein Mittel, die Isocrotonsäure frei von Crotonsäure darzustellen, indem bei jeder Destillation etwas von der ersteren in die letztere übergeht. Von diesem Umstande rührt die starke Abnahme der Constanten her, die bei reinen Stoffen nicht eintritt und ein charakteristisches Merkmal von Gemengen ist. Die der reinen Isocrotonsäure zukommende Constante muss daher höher, als 0.00347 liegen; vielleicht ist der schätzungsweise angegebene Werth $K = 0.00360$ noch zu niedrig.

Jedenfalls ist Isocrotonsäure merklich stärker, als Crotonsäure. Die Constitution der beiden Stoffe fasst WISLICENUS so auf, dass bei der Crotonsäure Methyl und Carboxyl auf derselben Seite, bei der Isocrotonsäure dagegen auf verschiedenen Seiten des von zwei doppelt gebundenen Kohlenstoffatomen gebildeten Systems sich befinden, wie das die nachstehenden Formeln veranschaulichen:

Crotonsäure $\begin{matrix} H - C - CH^3 \\ \| \\ H - C - COOH \end{matrix}$; Isocrotonsäure $\begin{matrix} CH^3 - C - H \\ \| \\ H - C - COOH \end{matrix}$.

Im ersten Falle stehen sich also Methyl und Carboxyl näher, als im zweiten. Da nun im Allgemeinen Methyl positiver ist, als Wasserstoff, so muss Crotonsäure schwächer sein, als Isocrotonsäure, was mit der Erfahrung übereinstimmt.

Ein zweites derartiges Beispiel bieten Tiglin- und Angelicasäure. Erstere habe ich von HERZIG in Wien erhalten, die zweite von WISLICENUS.

Tab. 44. Tiglinsäure, $C^5H^8O^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	6.149	1.733	0.000956
64	8.655	2.438	0.000952
128	12.21	3.440	0.000958
256	17.16	4.840	0.000962
512	24.04	6.775	0.000962
1024	33.31	9.390	0.000950

$K = 0.000957$

Tab. 45. Angelicasäure, $C^5H^8O^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	13.96	3.94	0.00505
64	19.48	5.48	0.00493
128	27.36	7.71	0.00503
256	37.95	10.69	0.00500
512	52.47	14.80	0.00502
1024	71.88	20.20	0.00499
2048	97.21	27.40	0.00505

$K = 0.00501$

Die beiden Säuren wandeln sich ähnlich wie die beiden Crotonsäuren in einander um, sie stehen also sehr wahrscheinlich in demselben Verhältniss, wie diese beiden. Darnach spricht die grössere Leitfähigkeit der Angelicasäure dafür, dass ihr die Structur

$$\begin{matrix} H \\ CH^3 \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} COOH \\ CH^3 \end{matrix}$$

und der Tiglinsäure die Structur

$$\begin{matrix} CH^3 \\ H \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} COOH \\ CH^3 \end{matrix}$$

zukommt; zu gleicher Ansicht ist auf Grundlage eben abgeschlossener Untersuchungen in seinem Laboratorium J. Wislicenus nach mündlicher Mittheilung gelangt. Indessen fällt eines auf. Der Unterschied zwischen den beiden Crotonsäuren ist nicht gross; das Verhältniss der Constanten ist kleiner als 1 : 2. Dagegen ist das entsprechende Verhältniss bei Angelica- und Tiglinsäure 1 : 5. Während also in den meisten Fällen analoge Constitutionsänderungen gleiche Verdün-

nungsverhältnisse bewirken, findet hier eine starke Abweichung statt. Dies scheint darauf hinzuweisen, dass in der That die beiden Veränderungen nicht ganz analog sind. Der Schluss wird dadurch unterstützt, dass die Tiglinsäure, wie zu erwarten, etwas schwächer ist, als die homologe, um CH^2 ärmere Crotonsäure, während dagegen die Angelicasäure nicht nur stärker als die Crotonsäure, sondern auch unzweifelhaft stärker, als die Isocrotonsäure ist, selbst wenn deren Constante noch zu klein geschätzt sein sollte.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen bieten sich ungezwungen die räumlichen Vorstellungen dar. Die beiden an den doppelt gebundenen Kohlenstoffatomen plansymmetrisch gelagerten Methylgruppen der Angelicasäure kommen sich sozusagen in den Weg und drehen die beiden doppelt gebundenen Kohlenstoffatome um ihre gemeinsame Axe so gegen einander, dass ihre Schwerpunkte sich näher stehen, als bei freier Lage. Da nun Kohlenstoff ein stark negatives Element ist, so werden dadurch die sauren Eigenschaften gesteigert und die Angelicasäure zeigt demgemäss eine grössere Leitfähigkeit, als nach den Analogieen unmittelbar zu erwarten war.

Einen weiteren Fall ähnlicher Verschiedenheiten bieten die beiden α-Chlorcrotonsäuren dar, von welchen mir Wislicenus gleichfalls Proben gegeben hat. Die Leitfähigkeiten sind:

Tab. 46. α-Chlorcrotonsäure, $C^3H^4Cl.COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	35.75	10.01	0.0695
32	49.68	13.92	0.0704
64	68.40	19.20	0.0713
128	92.58	25.97	0.0712
256	123.9	34.76	0.0724
512	161.6	45.32	0.0733
1024	203.7	57.03	0.0739

$K = 0.072$

Tab. 47. α-Isocrotonsäure, $C^3H^4Cl.COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	52.30	14.67	0.158
32	71.58	20.08	0.158
64	96.45	27.04	0.155
128	128.0	35.88	0.157
256	166.0	46.54	0.158
512	208.3	58.42	0.158
1024	250.7	70.16	0.162

$K = 0.158$

Dasselbe Verhältniss, wie bei beiden Crotonsäuren, zeigt sich bei ihren α-Chlorsubstitutionsproducten: die Isoverbindung ist entsprechend der grösseren Entfernung des Methyls stärker, als die normale. Auch ist das Verhältniss der Constanten annähernd das gleiche (1 : 2) in beiden Fällen.

Durch den Eintritt des Chlors sind die Constanten beider Verbindungen erheblich grösser geworden; das Verhältniss ist etwa 1 : 36. Bei der Essigsäure bewirkt eine gleiche Substitution aber eine Vergrösserung wie 1 : 86. Worauf dieser Unterschied beruht, kann ich noch nicht angeben.

Die mir gleichfalls von WISLICENUS mitgetheilten β-Chlorcrotonsäuren, deren Formeln

$$\begin{matrix} CH^3 \\ Cl \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} COOH \\ H \end{matrix} \qquad \begin{matrix} Cl \\ CH^3 \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} COOH \\ H \end{matrix}$$

β-Chlorcrotonsäure und β-Chlorisocrotonsäure

sind, ergaben mir endlich:

Tab. 48. β-Chlorcrotonsäure.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	16.71	4.68	0.0144
32	23.40	6.55	0.0144
64	32.71	9.17	0.0145
128	45.15	12.66	0.0143
256	62.20	17.43	0.0144
512	84.73	23.72	0.0144
1024	113.4	31.77	0.0143

$K = 0.0144$

Tab. 49. β-Chlorisocrotonsäure.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	13.52	3.79	0.00934
32	19.02	5.33	0.00939
64	26.69	7.48	0.00946
128	37.15	10.41	0.00945
256	51.52	14.43	0.00951
512	70.72	19.81	0.00956
1024	95.69	26.81	0.00960

$K = 0.00947$

Während alle vorbesprochenen Säuren Verhältnisse zeigten, welche sich mit den Annahmen über ihre räumliche Anordnung in guter Uebereinstimmung befinden, macht sich hier ein Gegensatz geltend. Die β-Chlorisocrotonsäure sollte stärker sein, als die β-Chlorcrotonsäure, ist aber etwas schwächer. Ein Irrthum in der Bestimmung der Constitution beider Stoffe scheint ausgeschlossen zu sein[1]), ebenso habe ich mich durch Untersuchung anderer Proben überzeugt, dass eine Verwechselung der Präparate nicht eingetreten war; es liegt also ein thatsächlicher Widerspruch vor.

Im Uebrigen sind beide Säuren, der β-Stellung des Chloratoms zufolge, weit schwächer als ihre α-Isomeren. Das Verhältniss der Constanten ist bei Croton- und β-Chlorcrotonsäure 1 : 7, bei Isocroton- und β-Chlorisocrotonsäure 1 : 26. Wenn Croton- und β-Chlorisocrotonsäure, und ebenso Isocroton- und β-Chlorcrotonsäure einander entsprächen, so betrügen die Verhältnisse 1 : 4.6 und 4.0, würden sich also nahe kommen. Zwischen Propion- und β-Jodpropionsäure ist das Verhältniss 1 : 6.6, nähert sich also dem zwischen Croton- und β-Chlorcrotonsäure.

Aus den beiden β-Verbindungen entsteht durch Abspaltung von Chlorwasserstoff leicht Tetrolsäure, $CH^3 - C \equiv C - COOH$. Obwohl Chlorwasserstoff selbst eine sehr stark saure Verbindung ist, bedingt der Austritt seiner Elemente aus den β-Chlorcrotonsäuren nicht etwa eine Verminderung, sondern im Gegentheil eine sehr bedeutende Verstärkung der sauren Eigenschaften. Ich verdanke das untersuchte Präparat gleichfalls J. Wislicenus.

1) Abh. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. **24**, 42. 1887.

Tab. 50. Tetrolsäure, $C^3H^3.COOH$.

$\mu_\infty = 361.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	88.6	24.5	0.249
64	118.2	32.8	0.250
128	153.7	42.6	0.247
256	193.4	53.5	0.240
512	235.7	65.4	0.241
1024	275.8	76.4	0.242
2048	308.5	85.6	0.249

$K = 0.246$

Die Constante ist rund zwanzigmal grösser, als die der um HCl reicheren Säuren und übertrifft auch noch erheblich die der in der α-Stelle gechlorten Crotonsäuren. Dies bemerkenswerthe Verhalten, das indessen nicht allein dasteht, zeigt besonders deutlich die stark positive Natur des Wasserstoffs und den hochgradig negativen Charakter des Kohlenstoffs; die Säure ist deshalb so stark, weil aller Wasserstoff aus der Nähe des Carboxyls entfernt ist: $CH^3 - C \equiv C - COOH$.

16. Benzoesäure und Oxybenzoesäuren. Die Untersuchung dieser Körpergruppe bot besonderes Interesse durch die Mannigfaltigkeit der Abkömmlinge und die zahlreichen Isomerieen und hat in der That zu Ergebnissen allgemeineren Charakters geführt.

Tab. 51. Benzoesäure, $C^6H^5.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	21.39	6.00	0.00598
128	29.70	8.38	0.00598
256	42.20	11.69	0.00604
512	57.61	16.16	0.00605
1024	78.94	21.61	0.00583

$K = 0.00600$

Benzoesäure ist infolge des negativen Phenyls um das 3.3fache stärker, als Essigsäure ($K = 0.0018$), dagegen ist sie schwächer, als Ameisensäure.

Wird ein Hydroxyl eingeführt, so entstehen drei isomere Säuren von ungemein verschiedener Leitfähigkeit.

Tab. 52. Salicylsäure, $C^6H^4(OH)COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	80.1	22.4	0.101
128	107.9	30.2	0.102
256	141.9	39.8	0.102
512	181.7	50.8	0.102
1024	224.1	62.8	0.103

$K = 0.102$

Durch den Eintritt des Orthohydroxyls ist die Constante 17mal grösser geworden, als die der Benzoesäure. Der Einfluss ist viel bedeutender, als der, welchen die Hydroxylirung bei den Säuren der Fettreihe ausübt, denn derselbe beträgt nur 7.5 bis 10 für die α-, und 2.3 für die β-Stellung.

Tab. 53. m-Oxybenzoesäure.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	18.18	5.09	0.00852
64	25.67	7.19	0.00870
128	35.75	10.01	0.00868
256	49.36	13.83	0.00867
512	67.90	19.04	0.00874
1024	91.63	25.70	0.00869

$K = 0.00867$

Tab. 54. p-Oxybenzoesäure.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	10.57	2.79	0.00284
64	14.83	4.15	0.00281
128	21.01	5.89	0.00288
256	29.35	8.22	0.00288
512	40.87	11.45	0.00289
1024	56.25	15.68	0.00285

$K = 0.00286$

Die Aenderung, welche das Meta-Hydroxyl hervorbringt, ist unbeträchtlich; die Constante ist um das 1.45fache gestiegen. In der Para-Stellung dagegen bewirkt das Hydroxyl, wie schon früher her-

vorgehoben wurde, eine Schwächung der Säure; die Constante beträgt weniger, als die Hälfte von der der Benzoesäure.

Die gleichen Einflüsse nun, welche die einzeln eintretenden Hydroxyle üben, machen sich in derselben Weise geltend, wenn mehrere derselben ihre Wirkung gleichzeitig bethätigen. Ich habe durch ein Zusammentreffen günstiger Umstände sämmtliche bekannten mehrfach hydroxylirten Benzoesäuren, nämlich sechs Dioxy- und drei Trioxyverbindungen untersuchen können, an welchen überall die gleiche Wirkungsweise zu erkennen war.

Die beiden Oxysalicylsäuren von der Stellung $COOH : OH : OH = 1 : 2 : 3$ und $1 : 2 : 5$ waren mir von Wislicenus mitgetheilt worden. Es waren Originalpräparate von A. K. Miller[1]), die sich allerdings schwach bräunlich gefärbt hatten, sich aber völlig klar in Wasser lösten. Da sie, wie alle Oxybenzoesäuren, welche Hydroxyl ausserhalb der Orthostelle enthalten, sich mit Phenolphtalein nicht titriren lassen, so wurde ausnahmsweise die Lösung aus gewogenen Mengen Substanz und Wasser bereitet.

Tab. 55. Oxysalicylsäure 1 : 2 : 3.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	84.1	23.6	0.114
128	112.5	31.6	0.114
256	147.0	41.3	0.113
512	187.0	52.6	0.114
1024	230.0	64.7	0.116
2048	270.4	76.0	0.117

$K = 0.114$

Die Säure ist als *m*-Oxysalicylsäure stärker als Salicylsäure, das Verhältniss der Constanten, 1.1 ist aber etwas kleiner, als das zwischen Benzoe- und *m*-Oxybenzoesäure 1.44. Es entspricht dies der allgemeinen Regel, dass die gemeinsame Wirkung zweier Substituenten meist etwas weniger austrägt, als dem Product beider Verhältnisszahlen entspricht.

Das Gleiche macht sich bei der Oxysalicylsäure 1 : 2 : 5 geltend.

1) Lieb. Ann. **220**, 113. 1883.

Tab. 56. Oxysalicylsäure 1 : 2 : 5.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	80.49	22.6	0.103
128	108.9	30.6	0.105
256	143.7	40.4	0.107
512	183.7	51.6	0.107
1024	227.1	63.9	0.110
2048	269.4	75.6	0.113

$K = 0.108$

Auch bei dieser Säure befindet sich ein Hydroxyl in der Ortho- und eines in der Metastellung, also in gleicher Lage zum Carboxyl, in verschiedener gegen einander. Ebenso wie die entsprechenden beiden Nitrosalicylsäuren[1]) zeigt die Verbindung die grössere Constante, welche die wirkenden Substituenten in benachbarter Stellung enthält. Der Salicylsäure ist auch diese Verbindung noch deutlich überlegen.

Zwei weitere Oxysalicylsäuren entstehen bei der Einwirkung von kohlensaurem Ammon auf Resorcin unter Druck; sie haben die Stellungen 1 : 2 : 4 und 1 : 2 : 6. Ich habe Originalpräparate des Entdeckers Senhofer[2]) untersuchen können, welche ich v. Barth in Wien verdanke; die Säure 1 : 2 : 6 habe ich ausserdem durch Kochen von Resorcin mit einer Lösung von doppeltkohlensaurem Kali[3]) hergestellt; sie gab völlig dieselben Resultate, wie die mit kohlensaurem Ammon gewonnene.

Tab. 57. α-Resorcylsäure, 1 : 2 : 4.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	58.6	16.46	0.0510
128	80.3	22.55	0.0513
256	108.2	30.40	0.0518
512	142.5	40.0	0.0519
1024	181.7	50.9	0.0515

$K = 0.0515$

1) Ztschr. f. physikal. Chemie **1**, 61. 1887.
2) Wien. Ak. Ber. **80**, 504. 1879.
3) Ber. **18**, 1985. 1885.

Bei der α-Resorcylsäure steht das zweite Hydroxyl in der Parastellung zum Carboxyl. Ebenso wie p-Oxybenzoesäure nur halb so stark ist, wie Benzoesäure, zeigt die β-Resorcylsäure annähernd eine halb so grosse Constante, wie Salicylsäure, doch ist wiederum die Wirkung des zweiten Hydroxyls ein wenig abgeschwächt.

Tab. 58. β-Resorcylsäure, 1 : 2 : 6.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	100 m
64	285	80.0
128	308	86.7
256	326	91.5
512	338	94.9
1024	347	97.4

$K = 5.0$

Bei der β-Resorcylsäure stehen beide Hydroxyle in der Orthostellung zum Carboxyl. Demgemäss ist die Säure ungemein stark; sie steht den starken Mineralsäuren schon fast gleich und befindet sich in solcher Nähe ihres Maximums, dass eine zuverlässige Bestimmung der Constanten sich nicht mehr ausführen lässt. Der angenäherte Werth 5.0 ist etwa 50 mal so gross, wie der der Salicylsäure, welche ihrerseits nur um das 17fache die Benzoesäure übertrifft. Es findet sich somit hier eine Ausnahme von der sonst allgemeinen Regel, dass zwei gleichzeitig wirkende Substituenten sich gegenseitig etwas beeinträchtigen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass künftig diese Thatsache, wie die anderen hier angeführten, in den räumlichen Verhältnissen zwischen den Atomen ihre hypothetische Veranschaulichung wird finden können.

Einen auffälligen Gegensatz zu der überaus starken β-Resorcylsäure bilden die beiden letzten Dioxybenzoesäuren 1 : 3 : 4 und 1 : 3 : 5, die Protocatechusäure und die symmetrische Dioxybenzoesäure. Ich verdanke auch diese Präparate der Freundlichkeit v. Barth's.

Tab. 59. Protocatechusäure, 1 : 3 : 4.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	10.65	3.00	0.00290
64	15.10	4.25	0.00295
128	21.41	6.01	0.00300
256	30.31	8.52	0.00310
512	42.22	11.92	0.00315
1024	59.31	16.68	0.00326

$K = 0.0033$

Die Constante der Protocatechusäure zeigt einen regelmässig ansteigenden Gang, statt wie bei anderen Säuren um einen Mittelwerth zu schwanken. Aehnlichen Erscheinungen werden wir späterhin bei einzelnen anderen sehr schwachen Säuren begegnen. Dieselben deuten darauf hin, dass die Voraussetzungen, unter denen die Formel abgeleitet wurde, nicht ganz erfüllt sind. Eine Erklärung für die vorliegende Abweichung würde in der Annahme gefunden werden können, dass in den stärkeren Lösungen der Protocatechusäure sich zusammengesetztere Molekeln von der Formel $(C^7H^6O^4)^n$ befänden, welche durch zunehmende Verdünnung zerfallen.

Immerhin kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit $K = 0.0033$ setzen. Die Zahl stimmt mit der zu erwartenden völlig überein. Denn Protocatechusäure ist die *p*-Oxyverbindung der *m*-Oxybenzoesäure; ihre Constante muss daher etwa die Hälfte von der der letzteren betragen ($K = 0.00867$). Andererseits kann sie als *m*-Oxyderivat der *p*-Oxybenzoesäure aufgefasst werden, ihre Constante muss also weniger, als den 1.5fachen Werth derselben ($K = 0.00286$) aufweisen; beide Erwartungen finden sich erfüllt.

Die symmetrische Dioxybenzoesäure endlich ist die *m*-Oxyverbindung der *m*-Oxybenzoesäure; ihre Constante muss also um etwas grösser sein, als die der *m*-Oxybenzoesäure, welche 0.00867 beträgt.

Tab. 60. Symmetrische Dioxybenzoesäure, 1 : 3 : 5.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	18.70	5.25	0.0091
64	26.11	7.34	0.0091
128	36.07	10.13	0.0089
256	50.41	14.18	0.0090
512	69.57	19.27	0.0090
1024	94.50	26.57	0.0093

$K = 0.0091$

Auch hier entspricht die gefundene Constante den Voraussetzungen.

Aus der Gesammtheit dieser Beziehungen geht hervor, dass der Einfluss der in die Benzoesäure eingeführten Hydroxyle sich im wesentlichen superponirt, derart, dass die Constanten der Dioxybenzoesäuren sich aus der der Benzoesäure durch Multiplication mit den Aenderungsverhältnissen, welche der Einführung des *o*-, *m*- und *p*-Hydroxyls entsprechen, annähernd ableiten lassen. Indessen stellt diese Rechnungsweise die thatsächlichen Beziehungen nur in grossen Zügen dar, indem sie zwar die Grössenordnung, nicht aber den genauen numerischen Werth der Constanten bestimmen lässt; der letztere wird ausserdem noch durch die gleichzeitige Wirkung mehrerer Substituenten innerhalb engerer Grenzen modificirt.

Es war mir daher von besonderem Interesse, die beobachteten Beziehungen an den Trioxybenzoesäuren weiter zu verfolgen, um so mehr, da die Constitution derselben noch einigermassen discutabel ist.

Die beiden möglichen Carbonsäuren des benachbarten Trioxybenzols, des Pyrogallols, sind bekannt; es ist die Gallussäure und die Pyrogallolcarbonsäure, welche beim Erhitzen von Pyrogallol mit Kaliumbicarbonatlösung entsteht. Durch Will[1]) ist in letzterer ein Hydroxyl in der Orthostelle nachgewiesen, somit kommt ihr die benachbarte Stellung 1 : 2 : 3 : 4 ($COOH = 1$) zu. Für die Gallussäure bliebe sonach die symmetrische Stellung 1 : 3 : 4 : 5 übrig. Da indessen diese Beweisführung ein wenig umständlich ist, so wird eine Prüfung von anderer Seite nicht unerwünscht sein.

Unter den sechs möglichen Trioxybenzoesäuren giebt es nur eine,

1) Ber. 17, 1090. 1884.

welche kein Hydroxyl in der Orthostelle hat, eben die Gallussäure, wenn ihre Constitution richtig bestimmt ist. Dieselbe muss deshalb weit schwächer, als alle übrigen Isomeren sein. Sie ist die *p*-Oxyverbindung der symmetrischen Dioxybenzoesäure, und man kann für sie daher eine Constante erwarten, die ungefähr die Hälfte von jener, also etwa 0.004 beträgt, während die aller anderen Trioxybenzoesäuren den zehn- bis dreissigfachen Werth aufweisen müssen.

Tab. 61. Gallussäure. 1 : 3 : 4 : 5.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	100 m	100 k
32	11.69	3.28	0.00348
64	16.83	4.72	0.00365
128	23.95	6.72	0.00379
256	33.86	9.51	0.00390
512	47.74	13.41	0.00404
1024	66.53	18.72	0.00395

$K = 0.0040$

Die Bestimmung der Leitfähigkeit der Gallussäure lässt sich nicht mit aller Genauigkeit ausführen, da die Lösung sich in Berührung mit den platinirten Electroden oxydirt und braun färbt. Doch scheint immerhin dieser Vorgang nur einen geringen Einfluss auf die Leitfähigkeit zu haben, weil auch nach einigem Stehen keine erheblich abweichenden Werthe gefunden werden. Die bei der Protocatechusäure bereits bemerkte Eigenthümlichkeit eines langsamen Anwachsens der Constanten macht sich auch hier geltend und wird voraussichtlich auf gleiche Weise zu erklären sein.

Der numerische Werth der Constanten stimmt völlig mit dem auf Grundlage der Constitution 1 : 3 : 4 : 5 geschätzten; letztere ist somit unzweifelhaft die von Will angenommene.

Für die Pyrogallolcarbonsäure, welche ich nach den Angaben von Kostanecki dargestellt habe, ist Folgendes zu erwarten. Ihre Constitution ist 1 : 2 : 3 : 4, sie ist also die Paraoxyverbindung der Oxysalicylsäure 1 : 2 : 3 und ihre Constante muss daher etwas weniger, als die Hälfte derselben, also etwa 0.5 betragen. Andererseits ist sie das Metaoxyderivat der α Resorcylsäure ($K = 0.515$), ihre Constante wird daher ein wenig grösser, als 0.515 sein müssen.

Die Messungen an dieser Substanz lassen sich leider noch

weniger gut, als bei der Gallussäure ausführen, da sie gegen den durch das Platinschwarz der Elektroden übertragenen Sauerstoff noch empfindlicher ist; die Constante schwankt daher stärker, als gewöhnlich.

Tab. 62. Pyrogallolcarbonsäure, 1 : 2 : 3 : 4.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	58.8	16.56	0.501
128	80.9	22.75	0.523
256	109.5	30.8	0.535
512	145.1	40.8	0.550
1024	186.9	52.5	0.577

$K = 0.55$

Als annähernden Werth der Constanten kann man 0.55 annehmen; er entspricht durchaus den Vorausbestimmungen.

Die dritte bekannte Trioxybenzoesäure ist die Phloroglucincarbonsäure, die beim Kochen von Phloroglucin mit Kaliumbicarbonat entsteht[1]). Die Darstellung des Präparats wurde mir von Dr. J. Wagner ausgeführt. Die Constitution dieser Säure ist ausser Zweifel, da Phloroglucin überhaupt nur eine Carbonsäure geben kann, und entspricht dem Schema 1 : 2 : 4 : 6. Als Paraoxyderivat der β-Resorcylsäure, 1 : 2 : 6, muss sie eine Constante haben, die etwas weniger als die Hälfte von der dieser zukommenden beträgt; dieselbe wird sich daher auf rund 2 bis 2.5 schätzen lassen.

Tab. 63. Phloroglucincarbonsäure, 1 : 2 : 4 : 6.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	194	54.5	2.04
64	235	66.2	2.03
128	269	75.7	1.84
256	296	83.0	1.58
512	315	88.6	—
1024	329	92.6	—

Bei der Bestimmung der Leitfähigkeit der Phloroglucincarbonsäure machten sich ganz besondere Schwierigkeiten geltend. Dieser

1) Ber. 17, 2103. 1884.

Stoff verliert, wie bekannt, noch unterhalb der Siedhitze in seinen Lösungen Kohlensäure, und geht in Phloroglucin über. Derselbe Vorgang scheint bei gewöhnlicher Temperatur gleichfalls, und zwar ziemlich schnell, einzutreten. Denn eine frisch hergestellte Lösung verliert beständig an alkalimetrischem Titer (mit Methylorange und Barytwasser gemessen) und in gleichem Maasse an Leitfähigkeit. Derselbe Umstand macht sich beim Umkrystallisiren geltend; der Stoff verschwindet unter den Händen. Unter solchen Umständen kann natürlich eine genaue Ermittelung der Leitfähigkeit auch bei schnellster Arbeit nicht erreicht werden, und die allmähliche Selbstzersetzung verräth sich auf das deutlichste durch die Abnahme der Constanten. Die ersten Werthe werden die zuverlässigsten sein, doch wird der wahre Werth vermuthlich etwas höher, bei 2.10 bis 2.15 liegen. Die Zahl entspricht wieder völlig dem erwarteten Betrage.

Für die noch unbekannten drei Oxyhydrochinoncarbonsäuren lassen sich auf Grund der festgestellten Beziehungen folgende Constanten schätzen:

1 : 2 : 3 : 5	$K = 0.12$ bis 0.14
1 : 2 : 4 : 5	$K = 0.50$ bis 0.55
1 : 2 : 3 : 6	$K = 5$ bis 7.

Wie man sieht, sind die Unterschiede so bedeutend, dass jeder der drei Säuren mittelst einer Messung ihrer Leitfähigkeit ohne Weiteres ihr Platz angewiesen werden kann.

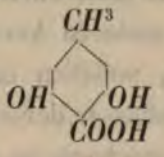
Eine Anwendung der eben gefundenen Beziehungen zur Aufklärung unbekannter Constitutionsverhältnisse lässt sich auf die Paraorsellinsäure machen. Ohne auf eine Erörterung der etwas verworrenen Angaben einzugehen, welche sich in der Litteratur über die Säuren $C^6H^2(OH)^2(CH^3).COOH$ finden, gebe ich nachstehend Messungen an der Verbindung, welche man durch Kochen von Orcin mit Kaliumbicarbonatlösung erhält. Da das Orcin die symmetrische Formel $CH^3 : OH : OH = 1 : 3 : 5$ hat, so kann das Carboxyl entweder in die Stelle 2 oder 4 treten und die Leitfähigkeit der entsprechenden Säuren wird der der α- oder der β-Resorcylsäure nahe kommen. Ein von Dr. J. Wagner hergestelltes Präparat ergab:

Tab. 64. Paraorsellinsäure, $C^6H^3(OH)^2(CH^3)COOH$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	307	85.7	4.0
256	330	92.2	4.2
512	345	96.3	—
1024	355	99.2	—

$K = 4.1$

Die Constante der α-Resorcylsäure, $COOH : OH : OH = 1 : 2 : 4$ ist 0.515, die der β-Säure 1 : 2 : 6 ist 5.0. Es ist somit keinem Zweifel unterworfen, dass der untersuchte Stoff der β-Resorcylsäure analog ist und die Constitution  besitzt.

17. Halogenderivate der Benzoesäure. Die hierhergehörigen Stoffe habe ich bereits in meiner früheren Abhandlung besprochen. Indessen ergab sich bei der Berechnung der Zahlen, dass hier wie bei meinen anderen älteren Messungen Störungen durch den Ammoniakgehalt eingetreten sind, so dass ich, soweit es zur Zeit thunlich war, die Bestimmungen wiederholte.

Ein schönes Präparat von reinster o-Chlorbenzoesäure verdanke ich meinem Collegen E. von Meyer; dasselbe ergab:

Tab. 65. o-Chlorbenzoesäure, $C^6H^4Cl.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	89.2	25.1	0.131
128	119.4	33.5	0.131
256	156.1	43.8	0.133
512	197.0	55.3	0.133
1024	238.7	67.1	0.134

$K = 0.132$

Die Constante zeigt der Benzoesäure ($K = 0.00600$) gegenüber einen 22 mal höheren Werth; bei der geraden Kette der Essigsäure bedingt der Eintritt des Chlors für Wasserstoff am benachbarten Kohlenstoff eine Steigerung auf das 86 fache, während das im Uebrigen gleich wirkende Jod am β-Kohlenstoff der Propionsäure nur eine

Vermehrung von 1 : 6.7 bewirkt. Die Orthostelle am Benzolring steht nach diesen Zahlen zwischen der α- und der β-Stelle an geraden Ketten. Indessen gilt dies nur für Halogene; Hydroxyl an der Orthostelle des Benzolringes wirkt im Gegensatz dazu weit stärker, als in der α-Stelle der geraden Kette. Derartige Gegensätze sind häufig und werden weiterhin noch durch zahlreiche weitere Beispiele illustrirt werden. Da nach früheren Erörterungen die Entfernung der Substituenten vom Carboxyl in entscheidender Weise die Intensität der Einwirkung beeinflusst, so muss man schliessen, dass das System von sechs Kohlenstoffatomen, welches den Benzolkern bildet, nicht starr ist, sondern unter dem Einflusse der Wechselwirkung der in demselben befindlichen anderen Atome mehr oder weniger erhebliche Formänderungen erfährt, welchen entsprechende Verstärkungen oder Abschwächungen des Einflusses derselben correspondiren. Auf diesem Wege lässt sich eine anschauliche Erklärung der früher schon betonten Thatsache gewinnen, dass zwar im Allgemeinen die Orthostelle die des grössten Einflusses ist, dass aber je nach der Natur des Substituenten zwischen Meta und Para die Reihenfolge sich wechselnd erweist.

Tab. 66. *m*-Chlorbenzoesäure, $C^6H^4Cl.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	64.3	18.06	0.0155
512	87.0	24.45	0.0154
1024	116.2	32.70	0.0155

$K = 0.0155$

Tab. 67. *p*-Chlorbenzoesäure, $C^6H^4Cl.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
2048	125	35.2	0.0093

$K = 0.0093$

Von der Metastelle aus vergrössert das Chlor die Constante der Benzoesäure um das 2.5fache, also mehr als die Hälfte weniger, als von der β-Stelle gerader Ketten aus. Die Parastelle ist für Chlor die des geringsten Einflusses; die Constante wird nur um das 1.5fache

vermehrt, doch sind die Bestimmungen bei so grossen Verdünnungen schon etwas unsicher.

Aehnliche Verhältnisse zeigen die gebromten Benzoesäuren. Schon früher habe ich hervorgehoben, dass die *o*-Brombenzoesäure merklich besser leitet, als die *o*-Chlorbenzoesäure. Neuere Messungen an einem von Schuchardt erhaltenen Präparat ergaben das Gleiche.

Tab. 68. *o*-Brombenzoesäure, $C^6H^4Br.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	124.5	35.0	0.147
256	160.6	45.15	0.145
512	201.4	56.6	0.144
1024	242.2	68.1	0.142

$K = 0.145$

Die Constante der *o*-Chlorbenzoesäure beträgt 0.132. Bei der Metabrombenzoesäure ergaben meine neueren Messungen in Uebereinstimmung mit den älteren, dass sie im Gegensatz zu den Verhältnissen der *o*-Säuren etwas schwächer ist, als die *m*-Chlorbenzoesäure. Das Präparat stammte aus dem hiesigen I. chemischen Laboratorium und war mir von Wislicenus mitgetheilt worden.

Tab. 69. *m*-Brombenzoesäure, $C^6H^4Br.COOH$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
512	82.6	23.2	0.0137
1024	110.7	31.1	0.0137

$K = 0.0137$

p-Brombenzoesäure entzieht sich durch ihre Unlöslichkeit in Wasser der Untersuchung.

Zwei weitere bromhaltige Abkömmlinge der Benzoesäure, Monound Dibromgallussäure, stellte ich mir durch Einwirkung gewogener Mengen von Brom- und Gallussäure in Schwefelkohlenstofflösung und mehrfaches Umkrystallisiren des auf dem Wasserbade von Schwefelkohlenstoff und Bromwasserstoff befreiten Productes dar. Die Constitution dieser Stoffe ist keinem Zweifel unterworfen, da überhaupt nur zwei Orthostellen in der Gallussäure frei sind. Die Leitfähigkeit steht hiermit im Einklang.

Tab. 70. Monobromgallussäure, $C^6HBr(OH)^3.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	62.4	17.71	0.0596
128	84.0	23.86	0.0583
256	112.8	32.00	0.0588
512	148.0	42.00	0.0596
1024	188.0	53.40	0.0596

$K = 0.0591$

Tab. 71. Bibromgallussäure, $C^6Br^2(OH)^3.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	162.3	46.1	1.23
64	201.0	57.1	1.19
128	243.2	69.0	1.20
256	281.0	79.7	1.22
512	313.3	89.0	—
1024	337.7	95.9	—

$K = 1.21$

Die Bestimmungen an beiden Stoffen boten einige Schwierigkeiten bei der Gehaltsbestimmung durch Titriren, da der geringste örtliche Ueberschuss an Barytwasser sofort eine durch Oxydation bedingte Rothfärbung der Flüssigkeit eintreten lässt; auch lässt sich der vorhandenen Hydroxyle wegen Phenolphtaleïn nicht als Indicator anwenden. Leidlich gute Ergebnisse wurden einerseits mit Methylorange, andererseits so erhalten, dass die durch den Ueberschuss der Basis bedingte Oxydationsfärbung als Indicator benutzt wurde; letztere tritt, wie ich mich überzeugt habe, erst ein, nachdem das neutrale Salz gebildet ist, und das Alkali auf die Phenolhydroxyle einwirkt. Nur ist erforderlich, örtliche Ueberschüsse der Basis durch heftiges Rühren zu vermeiden.

Die Constante der Gallussäure ist 0.0040; der Uebergang in Monobromgallussäure bedingt den Factor 15, und der Uebergang dieser in die Dibromgallussäure den Factor 20.5. Für den Uebergang der Benzoesäure in *o*-Brombenzoesäure beträgt der Factor 24, für den in *m*-Brombenzoesäure 2.3. Es ist also keinem Zweifel unterworfen, dass in beiden Fällen eine Orthowirkung vorliegt, was mit der Formel der Gallussäure in Uebereinstimmung steht. Es ist

bemerkenswerth, dass wie bei der Salicylsäure und der β-Resorcylsäure die zweite Orthosubstitution einen grösseren Einfluss ausübt, als die erste, während zwei entsprechende Substitutionen an demselben Kohlenstoffatom die entgegengesetzte Beziehung zeigen. Zur Erklärung bieten sich räumliche Vorstellungen dar. Tritt ein negativer Substituent im Benzolkern neben das Carboxyl, so können sich beide einigermassen ausweichen, wenn die andere Orthostelle unbesetzt ist. Tritt aber in diese ein zweites gleiches Atom oder Radical, so geht das nicht mehr an, und das Carboxyl befindet sich zu beiden in grösserer Nachbarschaft, als bei einseitiger Substitution.

Aus der Präparatensammlung des I. chemischen Laboratoriums zu Leipzig erhielt ich durch die Güte meines verehrten Freundes J. Wislicenus *m*-Fluorbenzoesäure, welche folgende Werthe ergab:

Tab. 72. *m*-Fluorbenzoesäure, $C^6H^4Fl.COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	31.5	8.86	0.0135
128	43.6	12.32	0.0135
256	60.6	17.14	0.0139
512	83.9	23.47	0.0143
1024	111.4	31.46	0.6143

$K = 0.0136$

Die Constante ist 2.3mal grösser als die der Benzoesäure. Beim Vergleich mit der *m*-Chlorbenzoesäure ($K = 0.0155$) macht sich die schwächer negative Beschaffenheit des Fluors, welche sich in der kleinen Leitfähigkeit der Fluorwasserstoffsäure zeigt, nur in geringem Maasse geltend; der *m*-Brombenzoesäure gegenüber erweist sich die Constante innerhalb der Versuchsfehler gleich. Von den Eigenschaften des Fluors, welche die geringe Leitfähigkeit seiner Wasserstoffverbindung verursachen, ist in diesem Falle nichts Merkliches übrig geblieben.

Die interessante Frage, ob das Cyan die stark negative Wirkung, welche es als Substituent in der Essigsäure zeigt, auch im Benzolkern bethätigt, habe ich zunächst an der Meta-Verbindung geprüft, welche Dr. J. Wagner nach den Angaben von Sandmeyer[1]) für mich herzustellen so freundlich war.

1) Ber. 18, 1498. 1885.

Tab. 73. *m*-Cyanbenzoesäure, $C^6H^4CN.COOH$.

$\mu_\infty = 354$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
133.3	52.90	14.95	0.0197
266.7	72.71	20.52	0.0199
533.3	98.41	27.80	0.0201
1066.7	129.5	36.60	0.0198

$K = 0.0199$

Die Constante der *m*-Chlorbenzoesäure ist 0.0155, Cyan verstärkt somit in der That wie bei Essigsäure mehr als Chlor. Indessen ist das Verhältniss in diesem Falle kleiner; es beträgt nur 1.3, während es bei den Essigsäuren 2.5, fast zweimal so gross ist. Der Factor gegen Benzoesäure ist 3.3.

18. Nitrobenzoesäuren. Eine Wiederholung meiner älteren Messungen an nitrirten Benzoesäuren ergab:

Tab. 74. *o*-Nitrobenzoesäure, $C^6H^4(NO^2).COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	205.3	57.8	0.618
256	246.1	69.3	0.611
512	283.3	79.7	0.611
1024	312.3	87.9	0.624

$K = 0.616$

Tab. 75. *m*-Nitrobenzoesäure, $C^6H^4(NO^2).COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	48.7	13.72	0.0341
128	67.5	19.00	0.0348
256	90.9	25.60	0.0344
512	121.7	34.25	0.0348
1024	157.6	44.40	0.0346

$K = 0.0345$

Tab. 76. *p*-Nitrobenzoesäure, $C^6H^4(NO^2).COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	97.0	27.3	0.0401
512	127.8	35.9	0.0393
1024	164.7	46.4	0.0394

$K = 0.0396$

Die früher schon ausgesprochenen Beziehungen finden in den vorstehend berechneten Constanten ihre zahlenmässige Begründung. In der Orthostelle wirkt die Nitrogruppe sehr stark; die Constante ist mehr als hundertmal so gross, wie die der Benzoesäure. Die Wirkung übertrifft somit die des Chlors und Broms an derselben Stelle um das vier- bis fünffache; überhaupt ist die *o*-Nitrobenzoesäure die stärkste aller orthosubstituirten Benzoesäuren, und Nitryl muss somit als der negativste aller Substituenten angesehen werden.

Von der Metastelle aus beträgt die Verstärkung das 5.9fache, während Chlor von derselben Stelle aus den Factor 1.6 bedingt. An der Parastelle endlich wirkt Nitryl mit dem Factor 6.6 gegen Chlor mit 1.55. Die Verhältnisse zwischen den an derselben Stelle substituirten Chlor- und Nitrobenzoesäuren betragen daher:

Ortho	1 : 4.6
Meta	1 : 2.2
Para	1 : 4.3.

Daraus geht hervor, dass bei den Ortho- und Paraverbindungen die Wirkungen annähernd proportional bleiben; von der Metastelle aus wirkt dagegen Nitryl verhältnissmässig viel schwächer, als Chlor. Für Brom gelten annähernd dieselben Beziehungen, wie für Chlor. Man kann dies Ergebniss als eine weitere Bestätigung der schon vielfach ausgesprochenen engeren Verwandtschaft zwischen *o*- und *p*-Verbindungen ansehen.

Von zusammengesetzteren Nitroderivaten der Benzoesäure sind die beiden Nitrosalicylsäuren $COOH : OH : NO^2 = 1 : 2 : 3$ und $= 1 : 2 : 5$ zu erwähnen, über welche ich schon früher[1]) berichtet habe. Die Messungen ergaben:

Tab. 77. *o*-Nitrosalicylsäure, 1 : 2 : 3.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	260	73.3	1.57
256	293	82.8	1.56
512	317	89.7	1.53
1024	335	94.6	1.62

$K = 1.57$

1) Ztschr. f. phys. Chemie **1**, 61. 1888.

Tab. 78. Nitrosalicylsäure, 1 : 2 : 5.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	267	75.3	0.90
512	300	84.4	0.89
1024	322	90.9	0.89

$K = 0.89$

Die beiden Säuren sind, wie schon früher betont wurde, dadurch interessant, dass sie die beiden Substituenten in derselben Beziehung zum Carboxyl, dagegen unter einander in verschiedener Beziehung enthalten. Die Verschiedenheit der an ihnen beobachteten Constanten zeigt, dass die Einflüsse der Substituenten sich in der That nicht unabhängig von einander bethätigen, da sonst, weil in beiden Säuren Hydroxyl an der Orthostelle, Nitryl an der Metastelle steht, die Constanten gleich sein müssten. Im Verhältniss zur Salicylsäure ($K = 0.102$) hat eine Steigerung auf den fünfzehn-, resp. achtfachen Werth stattgefunden. Dieselbe beträgt also erheblich mehr, als beim Uebergang von Benzoe- zu *m*-Nitrobenzoesäure (1 : 6), ist aber noch ausserordentlich weit vom Factor der *o*-Nitrogruppe (1 : 100) entfernt.

Von Lellman habe ich zwei isomere Bromnitrobenzoesäuren von der Constitution $COOH : NO^2 : Br = 1 : 2 : 3$ und $1 : 2 : 5$ erhalten. Leider konnte ich nur die zweite untersuchen, da die erste zu schwerlöslich ist. Nach den Erfahrungen an den analogen Dioxybenzoesäuren und Nitrosalicylsäuren lässt sich für beide eine annähernd gleiche Constante erwarten.

Tab. 79. Bromnitrobenzoesäure, $C^6H^3Br(NO^2).COOH.$

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	255	72.3	1.47
256	287	81.3	1.38
512	311	88.1	1.28
1024	325	92.1	—

$K = 1.4$

Wegen der grossen Annäherung an den Maximalwerth stimmen die Constanten schlecht unter einander, doch ist der angenommene

Werth wohl auf $\pm$ 5% richtig. Da Orthonitrobenzoesäure $K = 0.616$ hat und Brom in der Metastelle den Factor 2.3 bedingt, so ist für die fragliche Säure $K = 0.616 \times 2.3 = 1.42$ zu erwarten, was mit der Erfahrung bestens stimmt. Die beiden Substituenten beeinflussen sich also in diesem Falle nur unmerklich.

19. Amidobenzoesäuren. Die untersuchten Präparate habe ich nach den üblichen Methoden dargestellt und gereinigt: Anthranilsäure aus Indigo, die beiden anderen aus den entsprechenden Nitrosäuren.

Tab. 80. *o*-Amidobenzoesäure, $C^6H^4(NH^2).COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	7.24	2.03	0.00066
128	10.73	3.02	0.00074
256	16.11	4.54	0.00084
512	23.52	6.62	0.00092
1024	33.51	9.44	0.00096

Anthranilsäure gehört, wie man sieht, zu den schwächsten Säuren; sie steht den Fettsäuren nach und ihre Constante ist sechsmal kleiner, als die der Benzoesäure. Dabei macht sich die merkwürdige Erscheinung geltend, dass die Constante mit steigender Verdünnung schnell zunimmt. Von irgend welcher Verunreinigung rührt das nicht her, da dieser Umstand gerade das Gegentheil, nämlich eine Abnahme der Constanten mit steigender Verdünnung, bewirkt. Es ist somit der Schluss unabweisbar, dass irgendwie die Voraussetzungen nicht erfüllt sind, welche der Dissociationsformel zu Grunde liegen.

In der That liegt bei der Fähigkeit der Anthranilsäure, anderen Säuren gegenüber als Base zu wirken, die Annahme sehr nahe, dass auch verschiedene Molekeln der Anthranilsäure selbst in dieser Weise sich gegenseitig binden können. Eine derartige Verbindung wäre allerdings von nur schwachem Zusammenhalt und würde voraussichtlich durch viel Wasser fortschreitend in ihre Bestandtheile gespalten werden, sie würde aber gerade dieselbe Erscheinung bewirken, welche beobachtet worden ist. Denn bei fortschreitender Verdünnung einer Lösung, welche einfache und complexe Anthranilsäuremolekeln

enthält, erfahren nicht nur die ersteren die gesetzmässige elektrolytische Dissociation, sondern die letzteren zerfallen gleichfalls fortschreitend in einfache Anthranilsäuremolekeln, welche ihrerseits wiederum theilweise sich in ihre Jonen spalten und so die Zahl derselben über das Maass hinaus vergrössern, welches durch das Dissociationsgesetz gegeben ist[1]).

Ebenso wie Anthranilsäure verhält sich die *p*-Amidobenzoesäure.

Tab. 81. *p*-Amidobenzoesäure, $C^6H^4(NH^2).COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	7.53	2.122	0.00072
128	10.86	3.054	0.00075
256	16.34	4.609	0.00087
512	24.26	6.844	0.00098
1024	35.01	9.860	0.00105

Bei der starken Zunahme, welche die Constante erfährt, ist es schwer, den Grenzwerth zu schätzen, welchem sie zustrebt. Es scheint unzweifelhaft, dass derselbe höher liegt, als bei der Anthranilsäure; um wieviel aber, lässt sich aus den Messungen nicht entnehmen.

Eine weit grössere Constante und demgemäss, entsprechend den oben entwickelten Betrachtungen, eine weit geringere Zunahme derselben, zeigt die *m*-Amidobenzoesäure.

Tab. 82. *m*-Amidobenzoesäure, $C^6H^4(NH^2).COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	22.16	6.24	0.00650
128	31.46	8.86	0.00673
256	44.39	12.50	0.00698
512	66.39	17.90	0.00762
1024	88.30	24.90	0.00806

Die Constante der *m*-Amidobenzoesäure nimmt von 0.00650 bis 0.00806 zu, und erhebt sich somit in dem ganzen untersuchten Gebiet über die der Benzoesäure, welche 0.0060 beträgt. Die That-

1) Ich verdanke die Anregung zu dieser Betrachtung meinem verehrten Freunde Wislicenus.

sache ist sehr merkwürdig, dass in diesem Falle der Eintritt der Amidgruppe die Leitfähigkeit vermehrt, statt sie wie sonst immer zu vermindern, doch wird sie voraussichtlich ebenfalls in der gleichzeitig sauren und basischen Natur der untersuchten Säure ihre Ursache haben.

Wenn für ein Wasserstoffatom des Amids das negative Radical Acetyl eingeführt wird, so wird dadurch der basische Charakter desselben so abgeschwächt, dass die eben beschriebenen Anomalien vollkommen verschwinden: die entstehenden Säuren folgen wiederum völlig dem Verdünnungsgesetz. Ich gewann *o*- und *p*-Acetamidbenzoesäure nach Hofmann durch Oxydation der entsprechenden Acettoluide mit Kaliumpermanganat; die *m*-Verbindung stellte ich direct aus *m*-Amidobenzoesäure und Acetylchlorid her.

Tab. 83. *o*-Acetamidobenzoesäure, $C^6H^4(NHCOCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	55.70	15.9	0.0235
256	75.95	21.7	0 0235
512	102.7	29.4	0.0239
1024	135.0	38.6	0.0237

$K = 0.0236$

Die basischen Eigenschaften des Amids sind durch das Acetyl übercompensirt; die *o*-Acetamidobenzoesäure hat eine fast viermal so grosse Constante, wie die Benzoesäure ($K = 0.0060$).

Viel geringer ist die Wirkung von der Metastelle aus:

Tab. 84. *m*-Acetamidobenzoesäure, $C^6H^4(NHCOCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	47.92	13.7	0.00850
512	65.80	18.8	0.00850
1024	88.78	25.4	0.00845

$K = 0.0085$

Gegenüber der Benzoesäure hat immer noch eine Steigerung, wenn auch eine geringe (Factor 1.4) stattgefunden.

Tab. 85. *p*-Acetamidobenzoesäure, $C^6H^4(NHCOCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 350$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	37.90	10.85	0.00516
512	52.54	15.00	0.00517
1024	71.82	20.55	0.00519

$K = 0.00517$

Von der Parastelle aus macht sich durch das schwach negative Radical $NHCOCH^3$ interessanter Weise dieselbe Wirkung geltend, wie durch das gleich beschaffene Hydroxyl: die Säure wird schwächer, als ihre Muttersubstanz. Der Unterschied ist kleiner, als bei der *p*-Oxybenzoesäure; während bei dieser die Constante auf die Hälfte heruntergeht, bleibt sie bei der *p*-Acetamidobenzoesäure auf 0.86 ihres Werthes stehen. Ich weise wiederholt darauf hin, dass diese und ähnliche Erscheinungen für die Kenntniss der Wirkungsweise der »Affinitätskräfte« von höchster Bedeutung sind.

20. Acetylirte Oxybenzoesäuren. Ganz ähnlich, wie die vorstehend abgehandelten Stoffe verhalten sich Acetylderivate der Oxybenzoesäuren. Ich habe alle drei Isomeren durch Einwirkung von Acetylchlorid auf die freien Säuren dargestellt und in gebräuchlicher Weise gereinigt.

Tab. 86. Acetsalicylsäure, $C^6H^4(OCOCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 351$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	48.4	13.8	0.0344
128	65.7	18.75	0.0338
256	88.6	25.3	0.0335
512	117.2	33.4	0.0327
1024	151.5	43.2	0.0321

$K = 0.0333$

Merkwürdiger Weise ist trotz des Eintrittes der negativen Acetylgruppe für Hydroxylwasserstoff die Leitfähigkeit der Salicylsäure stark, auf etwa ein Drittel ihres Werthes, herabgedrückt. Es scheint dies auf eine specifische, nur in nächster Nähe sich entfaltende Wirkung des beweglichen Hydroxylwasserstoffs hinzudeuten. Gegenüber der Benzoesäure ist die Acetsalicylsäure indessen noch 5.5 mal

stärker. Ich hatte anfangs eine Zersetzung in Essigsäure und Salicylsäure vermuthet; da der Gehalt der Lösung massanalytisch bestimmt wurde, so hätte eine derartige Zersetzung die Leitfähigkeit verkleinern müssen. Doch ergab ein Versuch, bei welchem eine gewogene Menge Acetsalicylsäure in wässeriger Lösung fünfmal länger erhitzt wurde, als bei Herstellung der untersuchten Lösungen geschehen war, dass die Zersetzung nicht eintritt. Zur Neutralisation der unzersetzten Acetylverbindung wären 25.6 ccm meines Barytwassers erforderlich gewesen und für die vollständig zersetzte 51.2 ccm; thatsächlich wurden 25.5 ccm Barytwasser verbraucht.

Tab. 87. *p*-Acetoxybenzoesäure, $C^6H^4(OCOCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	17.82	5.08	0.00425
128	25.08	7.15	0.00432
256	34.82	9.90	0.00425
512	48.07	13.70	0.00425
1024	64.38	18.35	0.00403

$K = 0.00422$

Tab. 88. *m*-Acetoxybenzoesäure, $C^6H^4(OCOCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	51.5	14.68	0.00986
512	70.4	20.08	0.00985
1024	95.2	27.13	0.00986
2048	126.2	36.00	0.00988

$K = 0.00986$

Im Gegensatze zur Orthoverbindung sind die beiden anderen Acetoxybenzoesäuren, wie wegen des negativen Acetyls zu erwarten stand, etwas stärker, als ihre Muttersubstanzen, und zwar ziemlich in gleichem Verhältniss. Dabei ist bemerkenswerth, dass auch die Acetylverbindung der *p*-Oxybenzoesäure immer noch schwächer ist, als Benzoesäure selbst ($K = 0.00600$). Mit den Constanten der acetylirten Amidobenzoesäuren stehen die der Acetoxybenzoesäuren gleichfalls annähernd in Proportion, wie die nachstehende Tabelle zeigt.

	Acetoxysäuren	Acetamidosäuren
o	0.0333	0.0236
m	0.0099	0.0085
p	0 0042	0.0052

Von den Oxysäuren ordnen sich die *m*- und *p*-Verbindung gleichfalls ein, die Salicylsäure aber hat eine viel zu grosse Constante. Die Amidobenzoesäuren sind ebenfalls weit von der Proportionalität entfernt. Damit steht bei der Salicylsäure wohl im Zusammenhange, dass ihr Hydroxyl sich ganz anders verhält, als das der *m*- und *p*-Säure; es zeigt in verdünnter Lösung keine Phenolfunction gegen Basen und man kann Salicylsäure mit Phenolphtaleïn und Barytwasser genau titriren. Die neutralen Salze der *m*- und *p*-Oxybenzoesäure dagegen entfärben geröthetes Phenolphtaleïn und bei weiterem Zusatz der Basis treten unscharfe Farbänderungen auf.

Die wahrscheinliche Ursache des eigenthümlichen Verhaltens der Amidobenzoesäuren ist schon oben besprochen worden.

21. Methylirte Oxybenzoesäuren. Durch den Ersatz des Hydroxylwasserstoffs der Oxybenzoesäuren durch Methyl wird die Wirkung des Hydroxyls wesentlich geändert. Eine von Schuchardt bezogene Probe von Methylsalicylsäure ergab:

Tab. 89. Methylsalicylsäure, $C^6H^4(OCH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	17.51	4.93	0.00800
64	24.86	7.00	0.00824
128	34.76	9.79	0.00831
256	47.88	13.49	0.00822
512	65.06	18.35	0.00806
1024	86.92	24.50	0.00806

$K = 0.00815$

Das eingetretene Methyl bewirkt eine ganz ungemeine Schwächung der Salicylsäure; die Constante ist auf einen 12.5 mal geringeren Werth herabgegangen und ist nur noch 1.36 mal so gross, wie die der Benzoesäure. Das Methyl hat also fast völlig die Wirkung des Sauerstoffs compensirt.

Die Methylparaoxybenzoesäure ist die Anissäure. Eine von Trommsdorff bezogene, schön krystallisirte Probe ergab:

Tab. 90. Anissäure, $C^6H^4(OCH^3).COOH.$

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
512	42.7	12.0	0.0032
1024	58.1	16.4	0.0031

$K = 0.0032$

Da p-Oxybenzoesäure die Constante $K = 0.0029$ besitzt, so sieht man, dass auch hier die Aenderung, welche das Hydroxyl hervorgebracht hatte, durch das Methyl theilweise, wenn auch nur in sehr geringem Maasse, wieder aufgehoben worden ist.

Methylderivate der Dioxybenzoesäuren habe ich nur in der Reihe der Protocatechusäure untersuchen können, hier aber vollständig. Vanillinsäure, $COOH : OH : OCH^3 = 1 : 3 : 4$, von Kahlbaum bezogen, ergab:

Tab. 91. Vanillinsäure, $C^6H^3(OH)(OCH^3).COOH.$

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	15.02	4.25	0.00295
128	21.03	5.94	0.00293
256	29.50	8.34	0.00297
512	41.56	11.74	0.00305
1024	56.65	16.01	0.00298

$K = 0.00298$

Die Constante der Protocatechusäure ist 0.0033; der Eintritt des Methyls in das m-Hydroxyl bedingt somit nur eine ganz geringe Schwächung.

Die Isovanillinsäure, $COOH : OH : OCH^3 = 1 : 3 : 4$, habe ich von Dr. Wegscheider (Wien) erhalten.

Tab. 92. Isovanillinsäure, $C^6H^3(OCH^3)(OH).COOH.$

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	30.77	8.69	0.00323
512	42.30	11.95	0.00317
1024	57.87	16.35	0.00313

$K = 0.00318$

Gegen Protocatechusäure erweist sich die Constante gleichfalls kleiner, doch nur in geringem Maasse, so dass die Isovanillinsäure etwas stärker ist, als die Vanillinsäure.

Von der Dimethylprotocatechusäure oder Veratrumsäure habe ich zwei Proben untersucht; die eine hatte mir Dr. Herzig (Wien) gegeben, die andere war von Schuchardt bezogen. Die Messungen stimmen sehr gut.

Tab. 93. Veratrumsäure, $C^6H^3(OCH^3)^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ_1	μ_2	$100\,m$	$100\,k$
256	32.46	32.30	9.18	0.00363
512	44.72	44.71	12.70	0.00361
1024	61.83	61.34	17.44	0.00360

$K = 0.00361$

Veratrumsäure ist stärker, als die beiden Vanillinsäuren, und auch stärker als Protocatechusäure, doch sind die Unterschiede nur gering. Bei den in m- und p-Stellung befindlichen Hydroxylen hat also allgemein der Ersatz des Wasserstoffs durch Methyl keinen erheblichen Einfluss.

An dieser Stelle seien endlich Messungen an der mir von Herzig gegebenen Diäthylprotocatechusäure mitgetheilt. Die Säure ist äusserst schwerlöslich, so dass nur Lösungen von 1024 l untersucht werden konnten.

Tab. 94. Diäthylprotocatechusäure, $C^6H^3(OC^2H^5)^2.COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
1024	59.3	16.95	0.00338

$K = 0.00338$

Die Säure ist etwas schwächer, als Veratrumsäure, was den Analogieen entspricht.

22. Opiansäure, Hemipinsäure und deren Abkömmlinge. Die Präparate zu den nachstehenden Messungen habe ich von R. Wegscheider erhalten, welcher die Constitution dieser Verbindungen klargelegt hat[1]); nur die Hemipinsäure war mir von

1) Monatsh. **3**, 348. 1882.

G. Goldschmiedt gegeben worden, von dem sie durch Oxydation des Papaverins dargestellt wurde.

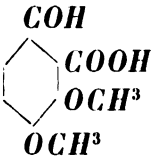
Tab. 95. Opiansäure, $C^6H^2(OCH^3)^2(COH).COOH.$

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	99.9	28.4	0.0880
256	132.0	37.5	0.0879
512	170.1	48.4	0.0887
1024	212.5	60.4	0.0898

$K = 0.0882$

Nach den Arbeiten des genannten Forschers kommt der Opiansäure die Constitution



zu. Da man nach dem Vorangegangenen weder dem Ortho- noch dem Meta-Oxymethyl einen erheblichen Einfluss auf die Constante zuschreiben darf, so ist die starke Steigerung derselben, auf den 14.7fachen Werth der Benzoesäure, wesentlich der in Orthostellung befindlichen Aldehydgruppe zuzuschreiben, welche demnach annähernd wie Hydroxyl an derselben Stelle wirkt.

Durch Oxydation geht Opiansäure in Hemipinsäure über, welcher daher die Constitution $COOH : COOH : OCH^3 : OCH^3 = 1 : 2 : 3 : 4$ zukommt. Das untersuchte Präparat war mir, wie erwähnt, von Goldschmiedt in Wien geschenkt worden.

Tab. 96. Hemipinsäure, $C^6H^2(OCH^3)^2(COOH)^2.$

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	92.6	26.4	0.147
128	122.7	34.9	0.146
256	156.7	44.6	0.140
512	195.4	55.5	0.135
1024	237.0	67.4	0.136
2048	275.6	78.4	0.139

$K = 0.145$

Hemipinsäure ist, wie zu erwarten war, stärker, als Opiansäure. Sie ist auch etwas stärker, als Phtalsäure ($K = 0.121$), ebenso wie Methylsalicylsäure stärker als Benzoesäure ist.

Tab. 97. α-Hemipinmethylestersäure, $C^6H^2(OCH^3)^2(CO^2CH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	47.4	13.50	0.0165
256	64.4	18.25	0.0160
512	86.7	24.70	0.0158
1024	114.5	32.70	0.0156

$K = 0.0160$

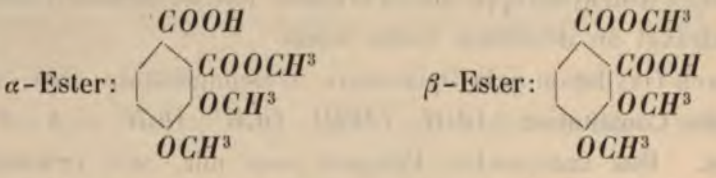
Tab. 98. β-Hemipinmethylestersäure, $C^6H^2(OCH^3)^2(CO^2CH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	117	33.4	0.131
256	152	43.3	0.129
512	192	54.5	0.127
1024	234	66.7	0.131

$K = 0.130$

Den beiden sauren Estern der Hemipinsäure kommt nach den Untersuchungen Wegscheider's die Constitution



zu. Beide Ester sind, wie zu erwarten ist, schwächer, als die freie Säure, die β-Verbindung nur in geringem Grade, die α-Verbindung erheblich. Der Unterschied liegt in dem Sinne, in welchem er erwartet werden durfte. Denn bei der β-Verbindung ist das Carboxyl von zwei sauerstoffhaltigen Gruppen eingeschlossen, während solche bei der α-Verbindung nur einseitig vorhanden sind. Der erste Umstand wirkt aber, wie sich z. B. bei der β-Resorcylsäure (S. 45) ergeben hatte, ungemein kräftig auf die Steigerung der sauren Eigenschaften ein. Auf diese Ursache mag auch der auffällig grosse Unterschied der Constanten beider isomerer Verbindungen zurückzuführen sein.

23. Die Homologen der Benzoesäure. Von TROMMSDORFF bezogene *o*-, *p*- und *m*-Toluylsäuren wurden durch mehrfache Krystallisation und Destillation mit Wasserdämpfen gereinigt und ergaben:

Tab. 99. *o*-Toluylsäure, $C^6H^4(CH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	41.33	11.64	0.0120
256	57.05	16.07	0.0120
512	77.54	21.82	0.0119
1024	103.4	29.12	0.0117

$K = 0.0120$

Durch den Eintritt des Methyls an die Orthostelle ist merkwürdiger Weise die Constante der Benzoesäure auf ihren doppelten Werth gestiegen.

Tab. 100. *m*-Toluylsäure, $C^6H^4(CH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	27.43	7.74	0.00507
256	38.54	10.85	0.00516
512	53.44	15.05	0.00521
1024	72.50	20.42	0.00512

$K = 0.00514$

Von der Metastelle aus hat Methyl die Constante um ein Geringes herabgedrückt, wie es in den meisten Fällen geschieht. Das Gleiche gilt für die *p*-Toluylsäure.

Tab. 101. *p*-Toluylsäure, $C^6H^4(CH^3).COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	38.70	10.9	0.00521
512	52.82	14.9	0.00509
1024	72.64	20.5	0.00515

$K = 0.00515$

Die Constanten der *m*- und *p*-Verbindung sind innerhalb der Versuchsfehler gleich.

Die mit den vorstehenden drei Verbindungen isomere α-Toluylsäure oder Phenylessigsäure, $C^6H^5.CH^2.COOH$, ergiebt gleichfalls einen naheliegenden Werth. Die untersuchte Probe stammte von SCHUCHARDT.

Tab. 102. α-Toluylsäure, $C^6H^5.CH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	14.80	4.11	0.00550
64	20.56	5.79	0.00556
128	28.79	8.13	0.00562
256	40.12	11.31	0.00563
512	54.83	15.42	0.00550
1024	76.02	21.41	0.00570

$K = 0.00556$

Die Essigsäure ist durch den Eintritt des negativen Phenyls im Verhältniss 1 : 3.1 stärker geworden; die Constante der Benzoesäure aber ist nicht erreicht.

Durch den Eintritt des Phenyls in die Propionsäure können zwei verschiedene Säuren entstehen, welche beide bekannt sind; α-Phenylpropionsäure ist Hydratropasäure und β-Phenylpropionsäure ist Hydrozimmtsäure. Ich habe beide untersucht; eine Probe der ersteren wurde mir von Dr. BECKMANN freundlichst durch Reduction käuflicher Atropasäure mit Natriumamalgam und Destilliren in Wasserdampf hergestellt. Hydrozimmtsäure wurde auf gleiche Weise gewonnen.

Tab. 103. Hydratropasäure, $CH^3.CH(C^6H^5).COOH$.

$\mu_\infty = 352$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	17.80	5.04	0.00418
128	25.13	7.10	0.00424
256	35.00	9.92	0.00427
512	48.84	13.83	0.00432
1024	66.62	18.89	0.00429

$K = 0.00425$

Da Propionsäure die Constante 0.00134 besitzt, so bewirkt das Phenyl in der α-Stelle hier eine Verstärkung um das 3.2fache. Ein

gleiches Verhältniss, 3.1, wurde bei den ganz analogen Stoffen Essigsäure und α-Toluylsäure gefunden.

Tab. 104. Hydrozimmtsäure, $C^6H^5.CH^2.CH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	13.17	3.73	0.00226
128	18.49	5.25	0.00227
256	25.76	7.31	0.00225
512	35.91	10.20	0.00230
1024	49.08	13.90	0.00228

$K = 0.00227$

Wie sich erwarten liess, wirkt das Phenyl von der β-Stellung aus weit schwächer; die Steigerung der Propionsäureconstante beträgt nur noch das 1.7fache. Zwischen beiden isomeren Säuren besteht das Verhältniss 1 : 1.9.

Von höheren Homologen der Benzoesäure habe ich noch die Cuminsäure oder p-Isopropylbenzoesäure untersucht.

Tab. 105. Cuminsäure, $C^3H^3.C^6H^4.COOH$.

$\mu_\infty = 350$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
512	52.15	14.71	0.00496
1024	70.92	20.20	0.00500

$K = 0.0050$

Wegen der geringen Löslichkeit der Cuminsäure, die nur Lösungen von 512 l ab, mit 0.03% Substanz, zu untersuchen gestattet, ist die Constante etwas unsicherer zu bestimmen, wiewohl die beiden Messungen gut stimmen. Gegenüber der Benzoesäure ($K = 0.0060$) macht sich eine geringe Schwächung durch das in Parastellung befindliche Isopropyl geltend.

24. Hydroxylirte Homologen der Benzoesäure. Die α-Toluylsäure giebt durch den Eintritt von Hydroxyl in den Essigsäurerest Mandelsäure.

Tab. 106. Mandelsäure, $C^6H^5.CH(OH).COOH$.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	38.53	10.92	0.0419
64	53.21	15.08	0.0419
128	72.64	20.57	0.0415
256	98.00	27.74	0.0416
512	129.5	36.64	0.0414
1024	167.5	47.37	0.0446

$K = 0.0417$

Die Constante hat sich gegenüber der der α-Toluylsäure auf das 7.5 fache vermehrt. Für Propionsäure und Milchsäure, welche jenen beiden Säuren vergleichbar sind, beträgt der Factor 10, kommt also jenem nahe.

Durch Eintritt von Hydroxyl in die Hydratropasäure oder Hydrozimmtsäure entstehen zahlreiche isomere Säuren von sehr verschiedener Leitfähigkeit. Ich habe von ihnen folgende untersucht:

Tab. 107. Tropasäure, $CH^2(OH).CH(C^6H^5).COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	23.58	6.70	0.00752
128	32.88	9.34	0.00752
256	45.65	12.98	0.00754
512	62.32	17.71	0.00745
1024	83.89	23.85	0.00730

$K = 0.00750$

Tropasäure verhält sich zur Hydratropasäure ihrer Constitution nach wie Propion- zu β-Oxypropionsäure. Das Verhältniss der Constanten beiderseits ist 1 : 1.8 und 1 : 2.3, kommt sich also nahe. Dass das β-Hydroxyl bei der Hydratropasäure etwas schwächer wirkt, stimmt mit anderweitigen Erfahrungen überein, und die beobachtete Leitfähigkeit steht somit mit der angenommenen Constitution in vollem Einklang. Die untersuchte Probe war von Schuchardt bezogen.

In der isomeren Phloretinsäure, die ebenfalls ein Abkömmling der Hydratropasäure ist, befindet sich das Hydroxyl im Benzolkern, und zwar in der Parastellung. Ich habe von derselben zwei Proben untersuchen können, die eine stammte aus den Samm-

lungen des Wiener Polytechnikums, die zweite hatte mir v. Barth geschenkt.

Tab. 108. Phloretinsäure, $CH^3.CH(C^6H^4OH).COOH$.

$\mu_\infty = 376.$

v	μ_1	μ_2	$100\,m$	$100\,k$
64	12.53	12.45	3.55	0.00204
128	17.69	17.39	4.98	0.00204
256	24.78	24.36	6.98	0.00205
512	33.93	34.10	9.67	0.00203
1024	46.26	47.25	13.29	0.00200

$K = 0.00203$

Die Constante der Hydratropasäure beträgt 0.00425, und das Para-Hydroxyl hat, genau wie bei der Benzoesäure, den Werth desselben auf etwas weniger als die Hälfte heruntergedrückt. Von dieser interessanten Beziehung werden unten noch weitere Beispiele gegeben werden.

Eine dritte isomere Verbindung, die als Abkömmling der Hydrozimmtsäure erkannt worden ist, ist die Hydroparacumarsäure, $C^6H^4(OH).CH^2.CH^2.COOH$. Die untersuchte Probe stammte gleichfalls aus den Sammlungen des Wiener Polytechnikums.

Tab. 109. Hydroparacumarsäure, $C^6H^4OH.C^2H^4.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	16.28	4.62	0.00175
256	22.75	6.46	0.00174
512	31.66	8.99	0.00174
1024	43.40	12.33	0.00170

$K = 0.00173$

Gegenüber der Muttersubstanz, der Hydrozimmtsäure ($K = 0.00227$) macht sich wiederum eine Schwächung durch das Para-Hydroxyl geltend, dieselbe beträgt aber in diesem Falle weniger als sonst, 1.3 statt 2. Ich glaubte deshalb anfangs, dass die Constante falsch bestimmt sei, doch ergaben Messungen an einem Präparat, das mir v. Barth geschenkt hatte, ganz übereinstimmende Zahlen. Es wird also auch in diesem Falle die Ursache der geringeren

Wirkung in der grösseren Entfernung des Benzolringes mit dem *p*-Hydroxyl zu suchen sein.

25. Ungesättigte Säuren. Die Berechnung meiner älteren Messungen an Acrylsäure ergiebt:

Tab. 110*. Acrylsäure, $C^2H^3.COOH$.

$\mu_\infty = 360.$

v	μ	100 m	100 k
8	7.53	2.09	0.00558
16	10.6	2.95	0.00560
32	14.7	4.11	0.00550
64	20.3	5.64	0.00527
128	28.3	7.82	0.00548
256	39.1	10.85	0.00516
512	53.6	14.90	0.00509
1024	73.0	20.30	0.00506

$K = 0.0056$

Mit Rücksicht auf die mehrfach erwähnten Verhältnisse meiner älteren Messungen ist $K = 0.0056$ zu setzen. Die Zahl ist 4.2 mal so gross, wie die der um zwei Wasserstoffatome reicheren Propionsäure.

Die Tabellen für die nächsten Homologen sind bereits früher (Tab. 42—45) mitgetheilt worden; hier mögen die Werthe der Constanten nochmals zusammengestellt werden:

Crotonsäure	$C^3H^5.COOH$	0.00204
Isocrotonsäure	- -	0.00360
Tiglinsäure	$C^4H^7.COOH$	0.00096
Angelicasäure	- -	0.00501

Buttersäure hat 0.00149, Valeriansäure 0.00161; während also beide Crotonsäuren der um H^2 reicheren Buttersäure überlegen sind, bleibt von den Säuren $C^4H^7.COOH$ die Tiglinsäure bedeutend hinter der Valeriansäure zurück.

Von höheren Homologen habe ich zunächst die Hydrosorbinsäure (aus Sorbinsäure durch Natriumamalgam dargestellt) untersucht. Sie ergab:

Tab. 111. Hydrosorbinsäure, $C^5H^9.COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	9.73	2.74	0.00241
64	13.70	3.84	0.00239
128	19.36	5.42	0.00242
256	27.02	7.58	0.00243
512	37.40	10.48	0.00240
1024	51.10	14.35	0.00235

$K = 0.00241$

Die Leitfähigkeit der Hydrosorbinsäure schliesst sich der der Capronsäure ($K = 0.00145$) in der gewöhnlichen Weise an. Sehr auffällig erweist sich dagegen die Sorbinsäure.

Tab. 112. Sorbinsäure, $C^5H^7.COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	16.2	4.58	0.00171
256	22.8	6.43	0.00172
512	31.9	9.01	0.00174
1024	44.3	12.52	0.00174

$K = 0.00173$

Die Constante ist zwar der der Capronsäure überlegen, sie ist dagegen geringer, als die der um zwei Wasserstoffatome reicheren Hydrosorbinsäure. Der Fall steht indessen nicht vereinzelt da. Tiglinsäure leitet gleichfalls schlechter, als Valeriansäure, und es steht zu vermuthen, dass in beiden Fällen gleiche Ursachen die Abweichung von dem gewöhnlichen Verhalten bedingen.

Wie bekannt, erhält man bei der Darstellung der Sorbinsäure dieselbe zunächst als ein heftig riechendes Oel, welches bei der Behandlung mit Säuren oder Alkalien erst die gewöhnlichen fast geruchlosen Krystalle giebt. Der ursprünglichen Annahme, dass beide Stoffe isomer sind, widersprechen Fittig und Barringer[1]), welche die flüssige »Parasorbinsäure« für unreine Sorbinsäure halten. Da indessen immerhin die Möglichkeit vorliegt, dass es sich um einen Fall von isomerer Umwandlung wie z. B. bei der Croton- und Isocrotonsäure handelt, so habe ich es nicht für überflüssig gehalten, auch die flüssige Säure auf ihre Leitfähigkeit zu untersuchen. Unmittelbar nach dem Umdestilliren mit Wasserdampf erhielt ich:

1) L. A. **161**, 325. 1871.

Tab. 113. Parasorbinsäure, $C^5H^7.COOH$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	100 m	100 k
27	7.60	2.15	0.00175
54	10.74	3.04	0.00176
108	14.84	4.23	0.00173
216	20.88	5.95	0.00174
432	28.99	8.20	0.00170
864	40.42	11.45	0.00172

$K = 0.00173$

Die Constante der flüssigen Sorbinsäure stimmt vollkommen mit der der festen überein und beide Stoffe sind in Uebereinstimmung mit Fittig und Barringer nicht für isomer, sondern für gleich zu halten.

Eine mit der Hydrosorbinsäure isomere Verbindung, α-Methyl-β-Aethyl-Acrylsäure[1]), habe ich von Lieben erhalten.

Tab. 114. Methyläthylacrylsäure, $C^5H^9.COOH$.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	100 m	100 k
38.18	7.24	2.05	0.00112
76.36	10.20	2.88	0.00112
152.7	14.39	4.02	0.00110
305.4	20.12	5.63	0.00110
610.9	27.57	7.73	0.00106
1222	38.28	10.80	0.00107

$K = 0.00111$

Die Säure ist auffallend schwach; die Constante bleibt hinter der der gesättigten Fettsäuren zurück und ist nur wenig grösser, als die der Tiglinsäure. Es liegt daher die Vermuthung nahe, dass sie dieser ähnlich constituirt ist.

26. Zimmtsäure und Verwandtes. Die gleichen Beziehungen, welche oben an der Hydrozimmtsäure und Hydratropasäure besprochen wurden, liegen bei den ungesättigten Verbindungen vor: Atropasäure ist α-Phenylacrylsäure, Zimmtsäure ist die entsprechende β-Verbindung. Beide Stoffe verhalten sich vollkommen ihrer Constitution gemäss.

1) Lieben und Zeisel, Monatsh. 4, 70. 1883.

Tab. 115. Atropasäure, $CH^2 : C(C^6H^5).COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	44.75	12.72	0.0145
256	61.02	17.35	0.0142
512	82.89	23.58	0.0142
1024	111.4	31.6	0.0143
2048	145.7	41.4	0.0143

$K = 0.0143$

Die Hydratopasäure hat durch den Austritt zweier Wasserstoffatome eine bedeutende Vergrösserung der Constanten auf etwa den dreifachen Werth erfahren. Zwischen Propion- und Acrylsäure beträgt das Verhältniss 4.2. Das Verhältniss zwischen Acrylsäure und Atropasäure endlich ist 1 : 2.6, etwas kleiner als das zwischen Propionsäure und Hydratropasäure 1 : 3.2.

Tab. 116. Zimmtsäure, $CH(C^6H^5) : CH.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	32.16	9.11	0.00357
512	44.46	12.59	0.00354
1024	61.33	17.34	0.00355

$K = 0.00355$

Entsprechend der entfernteren Stellung des negativen Phenyls ist Zimmtsäure erheblich schwächer, als Atropasäure. Das Verhältniss der Constanten (1 : 4) ist grösser, als in ähnlichen Fällen. Zimmtsäure ist daneben aber auch schwächer, als Acrylsäure. Dies ist der erste Fall, dass durch den Eintritt des Phenyls eine Verkleinerung der Constanten erfolgt. Indessen scheint eine Erklärung der Anomalie nicht aussichtslos, wenn man bedenkt, dass bei der Zimmtsäure, ebenso wie bei den Crotonsäuren, zwei räumlich isomere Formen möglich sein müssen und dass in solchen Fällen die gewöhnlichen Beziehungen Ausnahmen erleiden, wie sich das bei der Tiglinsäure und den β-Chlorcrotonsäuren (S. 37 und 40) bereits gezeigt hat.

Von den im Kerne hydroxylirten Zimmtsäuren oder Cumarsäuren habe ich zunächst die Paraverbindung (aus den Sammlungen des Wiener Polytechnikums) untersucht.

Tab. 117. Paracumarsäure, $C^6H^4(OH).C^2H^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	18.09	5.14	0.00217
256	25.19	7.16	0.00216
512	34.77	9.88	0.00212
1024	47.90	13.63	0.00210

$K = 0.00216$

Wiederum erweist sich das Para-Hydroxyl schwächend; die Constante der Paracumarsäure ist 1.6 mal kleiner, als die der Zimmtsäure. Das Verhältniss ist infolge der grösseren Entfernung des *p*-Oxyphenyls nicht so gross, wie bei der Benzoesäure.

Ganz unerwartete Verhältnisse zeigen dagegen die Orthoverbindungen. Cumarsäure ergab:

Tab. 118. *o*-Cumarsäure, $C^6H^4(OH).C^2H^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	25.25	7.16	0.00216
512	34.83	9.90	0.00213
1024	48.22	13.71	0.00213

$K = 0.00214$

Cumarsäre ist trotz ihres Ortho-Hydroxyls schwächer, als Zimmtsäure und hat nahezu dieselbe Constante, wie die Paracumarsäure. Dass hier kein Irrthum vorliegt, zeigt das ganz ähnliche Verhalten der Umbellsäure (aus den Sammlungen des Wiener Polytechnikums).

Tab. 119. Umbellsäure, $C^6H^3(OH)^2.C^2H^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	16.89	4.82	0.00190
256	23.68	6.72	0.00189
512	32.53	9.24	0.00184
1024	44.90	12.50	0.00182

$K = 0.00188$

Umbellsäure enthält ein Hydroxyl an der Ortho-, das zweite an der Parastelle des Benzolkerns. Als Paraoxyorthocumarsäure ist sie schwächer, als diese, sie ist aber auch schwächer, als die Paracumar-

säure, obwohl sie deren Orthooxyderivat ist. Das Orthohydroxyl dieser ungesättigten Säuren wirkt also nicht erhöhend, sondern vermindernd auf die Constante ein. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass auch dies auffallende Verhalten sich durch die von Wislicenus[1]) angestellten Betrachtungen wird aufklären lassen.

Bei den Monobromzimmtsäuren finden ersichtlicher Weise gleiche Verhältnisse statt, wie bei den Monochlorcrotonsäuren. Die aus Zimmtsäuredibromid entstandene sogenannte α- und β-Bromzimmtsäure sind beide als räumlich isomere Verbindungen aufzufassen[2]), welche Brom am ersten Kohlenstoff neben dem Carboxyl enthalten und den Formeln

$$\begin{matrix} H \\ C^6H^5 \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} Br \\ COOH \end{matrix} \quad \text{und} \quad \begin{matrix} C^6H^5 \\ H \end{matrix} > C = C < \begin{matrix} Br \\ COOH \end{matrix}$$

entsprechen.

Meine Messungen, die ich an neuerdings wieder hergestellten Präparaten ausführte, ergaben:

Tab. 120. α-Bromzimmtsäure, $C^6H^5.CH:CBr.COOH$.

$\mu_\infty = 352$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
111	246	69.7	1.44
222	280	79.6	1.40
444	309	87.8	1.42
888	329	93.4	1.49

$K = 1.44$

Tab. 121. β-Bromzimmtsäure, $C^6H^5.CH:CBr.COOH$.

$\mu_\infty = 352$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
441	165.0	46.9	0.094
882	204.7	58.2	0.092
1764	246.2	69.7	0.092

$K = 0.093$

Der Unterschied beider Constanten ist sehr bedeutend, er entspricht dem Verhältniss 1 : 55. Für die α-Verbindung ist in Ueber-

1) a. a. O. S. 51.

2) Wislicenus, a. a. O. S. 48.

einstimmung mit Wislicenus die correspondirende Lage von Phenyl und Carboxyl anzunehmen, für die β-Verbindung die von Wasserstoff und Carboxyl. Der Unterschied beider Stoffe ist sehr viel bedeutender, als bei den Crotonsäuren, denn bei diesen handelt es sich um den Austausch zweier basischer Substituenten von verschiedener Stärke, Wasserstoff und Methyl, während im vorliegenden Falle ein saurer, Phenyl, und ein basischer, Wasserstoff, ihren Platz wechseln.

Was schliesslich das Verhältniss zur Zimmtsäure anlangt, so hat die α-Bromverbindung eine 450mal grössere Constante, während die der β-Verbindung nur den 26fachen Werth aufweist. Da zwischen den beiden Crotonsäuren und ihren α-Chlorverbindungen übereinstimmend der Factor 1 : 36 beobachtet worden war, so liegt der Schluss nahe, dass als der β-Bromzimmtsäure entsprechend die gewöhnliche Zimmtsäure aufgefasst werden muss, während die der α-Säure entsprechende Configuration noch unbekannt ist. Somit wäre die gewöhnliche Zimmtsäure mit der Formel $\overset{C^6H^5}{H} > C = C < \overset{H}{COOH}$, in welcher Carboxyl und Wasserstoff correspondirende Plätze einnehmen, zu bezeichnen. Der isomeren Verbindung würde dann die Formel $\overset{H}{C^6H^5} > C = C < \overset{H}{COOH}$ und eine Constante vom angenäherten Werth $K = 0.05$ zukommen. Wislicenus hat (a. a. O. S. 48) für die bekannte Zimmtsäure die letztere Formel als die wahrscheinlichere angenommen, doch stellt sie unzweifelhaft die weniger begünstigte Configuration dar, und es erscheint auffällig, dass bisher nur diese erhalten sein sollte. Auch müsste, wenn Zimmtsäure und α-Bromzimmtsäure zusammengehören sollten, für den durch den Eintritt des Broms bedingten Factor der beispiellos grosse Werth 450 angenommen werden. Diese Umstände sprechen so entschieden gegen die letztere Formel, dass mir dieselbe ganz unzulässig erscheint.

Aus beiden Bromzimmtsäuren entsteht durch Abspaltung von Bromwasserstoff Phenylpropiolsäure, welche folgende Leitfähigkeit besitzt.

Tab. 122. Phenylpropiolsäure, $C^6H^5C^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
60	158.5	44.9	0.61
120	196.6	55.8	0.59
240	237.8	67.5	0.58
480	274.8	78.0	0.58
960	305.5	86.7	0.59

$K = 0.59$

Die Constante ist viel grösser, als die der β-Bromzimmtsäure ($K = 0.093$); es zeigt sich also wiederum der Fall, dass aus einer bromhaltigen Säure durch Abspaltung von Bromwasserstoff eine stärkere Säure entsteht. Für die α-Verbindung ist das freilich nicht der Fall, da deren Constante die der Phenylpropiolsäure um das 2.4-fache übertrifft.

Endlich sei noch als hierher gehörig die *o*-Nitrophenylpropiolsäure erwähnt. Ein mehrfach umkrystallisirtes technisches Product ergab:

Tab. 123. *o*-Nitrophenylpropiolsäure, $C^6H^4NO^2.C^2.COOH$.

$\mu_\infty = 349.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	272	77.9	1.08
512	301	86.2	1.05
1024	322	92.1	1.05

$K = 1.06$

Die Constante ist nicht ganz doppelt so hoch, als die der Muttersubstanz, während bei *o*-Nitrobenzoesäure der Factor mehr als 100 beträgt. Die Verhältnisse liegen ähnlich, wie bei der Nitrophenylglycolsäure (S. 20) und lassen sich auf gleiche Weise erklären.

27. Zweibasische Säuren. An einer früheren Stelle habe ich bereits angedeutet (S. 21), dass das Dissociationsgesetz zweibasischer Säuren keineswegs identisch ist mit dem eines Gases, von dem jede Molekel in drei andere zerfällt, sondern dass es sich vielmehr um die Superposition und gegenseitige Bedingtheit zweier Dissociationsvorgänge binären Charakters handelt. Denn die Dissociation der zweibasischen Säuren erfolgt nicht nach dem Schema $H^2R'' = H + H + R''$, sondern nach den beiden Formeln $H^2R'' = H + HR''$ und $HR'' = H + R''$. Glücklicherweise ist bei niedrigeren Phasen

der Dissociation, bis $m = 0.5$ etwa, der erste Vorgang bei weitem überwiegend, so dass die auf das Molekulargewicht bezogenen Leitfähigkeitswerthe sich noch gut der einfachen Dissociationsformel anschliessen, und nur wenn die Dissociation nach der Formel $H^2R = H + HR$ mehr als die Hälfte der vorhandenen Molekeln ergriffen hat, beginnt der Vorgang nach der zweiten Formel $HR'' = H + R''$ merklich zu werden. Es lässt sich dies auch aus der von Arrhenius entwickelten Theorie der isohydrischen Lösungen[1]) ableiten, nach welcher ein wenig dissociirter Stoff, hier $H + R''$, durch die Gegenwart eines stark dissociirten mit einem gleichen Jon, hier $H + HR''$, einen starken Rückgang seiner Dissociation erfährt.

Demgemäss lassen sich also auch für zweibasische Säuren Dissociationsconstanten bestimmen, wenn man die Rechnungen ganz wie früher ausführt, und nur solche Werthe der Leitfähigkeit benutzt, für welche $m < 0.5$ ist; dieselben beziehen sich alsdann auf das erste oder stärkste Säurewasserstoffatom. Sind die Leitfähigkeiten, wie in vielen der untersuchten Fälle sich herausgestellt hat, grösser als 0.5 des Grenzwerthes einbasischer Säuren, so ist eine genaue Berechnung der Constanten nicht mehr ausführbar. Doch lassen sich noch einigermaassen Schätzungen ausführen, wenn man die Verdünnungen aufsucht, bei welchen die verschiedenen Säuren gleiche oder annähernd gleiche relative Leitfähigkeit haben; die Constanten verhalten sich dann umgekehrt wie diese »correspondirenden« Verdünnungen.

Die Bestimmung des Maximalwerthes der Leitfähigkeit zweibasischer Säuren endlich ist zur Zeit nicht auszuführen, da es sich zunächst um die Wanderungsgeschwindigkeit des Jons HR'' handelt. Ich habe mir daher mit Schätzungen geholfen, welche auf Grundlage der in einer früheren Arbeit[2]) mitgetheilten allgemeinen Ergebnisse über den Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung und der Wanderungsgeschwindigkeit der Jonen in ganz genügender Annäherung möglich sind.

Nachstehend theile ich zunächst Messungen an Gliedern der Oxalsäurereihe mit, und schliesse daran die Besprechung der aus ihnen entstehenden mannigfaltigen Abkömmlinge.

1) Ztschr. f. physikal. Ch. **2**, 296. 1888.
2) Ztschr. f. physikal. Ch. **2**, 840. 1888.

Tab. 124. Oxalsäure, $(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 365$ (?).

v	μ	$100\,m$
32	267	73.1
64	299	81.9
128	324	89.0
256	346	94.7
512	364	—
1024	383	—
2048	409	—

Oxalsäre ist schon bei einer Verdünnung von 32 l weit über die Hälfte dissociirt, so dass eine Berechnung der Constanten aus diesen Zahlen nicht möglich ist. Auch unter Benutzung der Leitfähigkeit bei höheren Concentrationen lässt sich kein sicheres Ergebniss gewinnen, denn wenn man die Wanderungsgeschwindigkeit des Jons $COOH.COO$ etwas grösser als die der Essigsäure, also $\mu_\infty = 365$ setzt, so nimmt die aus den Einzelwerthen berechnete Constante nicht zu, wie bei allen anderen zweibasischen Säuren, sondern ab. Versuchsfehler bedingen diese unerwartete Erscheinung sicher nicht. Ich habe dieselbe einstweilen nicht weiter verfolgt und behalte mir vor, seinerzeit darauf zurückzukommen. Um einen Anhaltspunkt für weitere Vergleiche zu haben, sei bemerkt, dass die Constante der Oxalsäure sich auf rund $K = 10$ schätzen lässt.

Schon das zweite Glied der Reihe, die Malonsäure, ergiebt bei der Berechnung eine grosse Beständigkeit der Constanten, dissociirt sich also wie eine einbasische Säure, indem das zweite Carboxyl innerhalb des untersuchten Gebietes fast ganz unthätig bleibt; erst über 1000 l hinaus macht sich seine Wirkung geltend.

Tab. 125. Malonsäure, $CH^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 358$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	53.07	14.85	0.159
32	72.32	20.20	0.159
64	97.15	27.15	0.158
128	128.5	35.9	0.157
256	165.9	46.4	0.157
512	208.8	58.6	0.162
1024	253.2	70.8	0.168
2048	294.5	82.3	0.187

$K = 0.158$

Die Malonsäure ist bedeutend schwächer, als die Oxalsäure; die Constante ist etwa 60 mal kleiner. Um so viel geringer ist der gegenseitige Einfluss der Carboxyle durch die Zwischenlagerung der Gruppe CH^2 geworden.

Auch die weiteren Glieder der Oxalsäurereihe dissociiren sich wie einbasische Säuren; die Constante der Bernsteinsäure ändert sich durch das ganze untersuchte Gebiet nicht.

Tab. 126. Bernsteinsäure, $C^2H^4(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	11.40	3.20	0.00662
32	16.03	4.50	0.00662
64	22.47	6.32	0.00667
128	31.28	8.80	0.00664
256	43.50	12.24	0.00668
512	59.51	16.75	0.00659
1024	81.64	22.95	0.00668
2048	109.5	30.82	0.00671

$K = 0.00665$

Der Werth von K hat gegen Malonsäure wiederum stark abgenommen, doch bei weitem nicht in dem Maasse, wie zwischen Oxalsäure und Malonsäure, wo das Verhältniss etwa 60 : 1 ist, während es hier 24 : 1 beträgt.

Noch geringer werden stufenweise die Verschiedenheiten der Constanten für die weiteren Homologen. Glutarsäure und Adipinsäure habe ich in vollkommen reinem Zustande von Wislicenus erhalten; Korksäure und Sebacinsäure waren käufliche, durch Umkrystallisiren gereinigte Präparate und Pimelinsäure fand sich in den Sammlungen des hiesigen Institutes vor.

Tab. 127. Glutarsäure, $C^3H^6(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	19.00	5.37	0.00476
128	26.48	7.48	0.00472
256	36.82	10.43	0.00475
512	51.00	14.42	0.00475
1024	70.02	19.80	0.00477

$K = 0.00475$

Die Constante der Bersteinsäure verhält sich zu der der Glutarsäure, wie 1.4 : 1 ; die grossen Sprünge zwischen den drei ersten Gliedern sind verschwunden. Der wesentlichste Theil des gegenseitigen Einflusses der Carboxyle ist demnach auf die durch zwei zwischengelagerte Kohlenstoffatome gemessene Entfernung beschränkt und darüber hinaus bleibt nur ein geringer Rest der Wirkung übrig.

Tab. 128. Adipinsäure, $C^4H^8(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	11.92	3.39	0.00372
64	16.74	4.76	0.00372
128	23.48	6.67	0.00372
256	32.57	9.25	0.00369
512	45.22	12.85	0.00370
1024	62.06	17.65	0.00369

$K = 0.00371$

Tab. 129. Pimelinsäure, $C^5H^{10}(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	16.42	4.68	0.00359
128	23.03	6.57	0.00361
256	31.91	9.10	0.00356
512	44.16	12.59	0.00354
1024	60.88	17.37	0.00356

$K = 0.00357$

Tab. 130. Korksäure, $C^6H^{12}(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	14.00	4.00	0.00261
128	19.52	5.55	0.00255
256	27.24	7.78	0.00257
512	38.36	10.96	0.00263
1024	52.34	14.95	0.00257

$K = 0.00258$

Tab. 131. Sebacinsäure, $C^8H^{16}(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	26.25	7.50	0.00237
512	36.09	10.30	0.00234
1024	50.08	14.32	0.00234

$K = 0.00234$

Alle diese Säuren zeigen sehr gleichförmige Verhältnisse; die Constanten nehmen langsam und regelmässig ab. Nur bei der Pimelinsäure ist ein Werth gefunden worden, der sich nicht völlig regelmässig in die Reihe fügt. Indessen ist derselbe auch ohnedies ein wenig zweifelhaft, da die geringe Menge des vorgefundenen Präparates eine eingehende Prüfung und Reinigung verhinderte. Die letzten Säuren kommen in ihrer Leitfähigkeit der Essigsäure, $K = 0.00180$, und den höheren Fettsäuren ($K = 0.0015$) bereits nahe, zum Zeichen, dass der gegenseitige Einfluss der Carboxyle bereits sehr gering geworden ist. Gleichzeitig findet sich hier wiederum ein Beweis für die Richtigkeit der Auffassung der Electrolyse zweibasischer Säuren. Berechnet man nämlich die Dissociationsconstante z. B. für Sebacinsäure unter der Voraussetzung, beide Carboxyle dissociirten sich d. h. bezieht man sie auf ein Aequivalent, so erhält man, abgesehen von der schlechten Uebereinstimmung, $K = 0.0011$, also kleiner, als die der schwächsten Fettsäuren. Ein derartiges Ergebniss steht aber im Widerspruch mit der ausnahmslos durch die Wechselwirkung der Carboxyle eintretenden Verstärkung der Leitfähigkeit und beweist somit die Unzulässigkeit der gemachten Voraussetzung.

Neben den eigentlich homologen Säuren, die vorstehend Erwähnung fanden, habe ich eine Reihe von Abkömmlingen derselben mit »verzweigten« Ketten untersucht. Zunächst theile ich die Berechnung meiner älteren Messungen an methylirten und äthylirten Malonsäuren mit.

Tab. 132*. Methylmalonsäure, $CH(CH^3)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	39.8	11.15	0.087
32	54.8	15.36	0.087
64	74.2	20.79	0.085
128	99.5	27.90	0.083
256	131	36.70	0.083
512	168	47.1	0.082
1024	209	58.6	0.081

$K = 0.087$

Tab. 133*. Aethylmalonsäure, $CH(C^2H^5)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	47.2	13.26	0.127
32	64.5	18.14	0.126
64	87.0	24.46	0.124
128	115	32.35	0.121
256	149	41.9	0.118
512	188	52.8	0.116
1024	229	64.4	0.114

$K = 0.127$

Tab. 134*. Dimethylmalonsäure, $C(CH^3)^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	37.2	10.45	0.0762
32	51.6	14.50	0.0770
64	70.5	19.82	0.0766
128	95.1	26.73	0.0762
256	126	35.4	0.0758
512	162	45.6	0.0746
1024	204	57.4	0.0755
2048			

$K = 0.077$

In den vorstehenden Tabellen nehmen, wie überall bei meinen älteren Messungen, infolge der mehrfach erwähnten Fehlerquelle die Constanten langsam ab. Die ersten Werthe verdienen das meiste Zutrauen.

Da die Constante der Malonsäure 0.158 beträgt, so sieht man, dass sämmtliche substituirten Malonsäuren schwächer sind, als ihre Muttersubstanz, und zwar bewirkt der Eintritt eines Aethyls eine geringere Schwächung, als der eines Methyls; am schwächsten ist die Dimethylmalonsäure. Es hält schwer, sich eine plausible Vorstellung über die Ursache dieser Verhältnisse zu bilden.

Im Gegensatz zu den methylirten Malonsäuren ist die Methylbernsteinsäure oder gewöhnliche Brenzweinsäure stärker als ihre Muttersubstanz. Ich habe darauf schon in meiner älteren Abhandlung hingewiesen, und finde an neuen Präparaten dasselbe Ergebniss.

Tab. 135. Brenzweinsäure, $C^2H^3(CH^3)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	18.17	5.14	0.0087
64	25.44	7.18	0.0087
128	35.32	9.98	0.0086
256	48.78	13.81	0.0086
512	66.60	18.83	0.0085
1024	90.38	25.50	0.0085
2048	121.1	34.30	0.0087

$K = 0.0086$

In gleichem Sinne von der Bernsteinsäure verschieden sind die von Bischoff[1]) dargestellten und von P. Walden untersuchten räumlich isomeren symmetrischen Diäthylbernsteinsäuren.

Tab. 136. Anti-Diäthylbernsteinsäure, $C^2H^2(C^2H^5)^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	34.9	9.95	0.0343
64	48.2	13.74	0.0342
128	65.8	18.75	0.0338
256	88.3	25.15	0.0330
512	115.8	33.1	0.0320
1024	146.2	41.7	0.0291
2048	176.3	50.3	0.0249

$K = 0.0343$

1) Ber. d. chem. Ges. **21**, 2089. 1888.

Tab. 137. Para-Dimethylbernsteinsäure, $C^2H^2(C^2H^5)^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	29.7	8.47	0.0245
64	41.2	11.75	0.0245
128	57.3	16.34	0.0249
256	77.0	21.95	0.0241
512	102.3	29.2	0.0235
1024	132.8	37.9	0.0225
2048	165.6	47.3	0.0207

$K = 0.0245$

Die Werthe der Constanten zeigen gleichfalls, ebenso wie bei den von mir in Riga ausgeführten Bestimmungen[1]), eine anfangs langsame, später schnellere Abnahme in Folge ammoniakhaltigen Wassers, doch lassen sich die ersten Werthe als bis auf 1 oder 2 Proçent sicher ansehen.

Beide Säuren sind ganz erheblich stärker, als Bernsteinsäure, deren Constante $K = 0.00665$ beträgt. Die Verhältnisszahlen sind 5.2 und 3.7. In der schwächeren Parasäure sind vermuthlich die Atome so geordnet, dass ein vollständigerer innerer Ausgleich der wirksamen Affinitäten möglich ist, als in der Antisäure, so dass die Wirkung nach aussen geringer ist. Wieweit dieser Schluss mit den Anschauungen über die räumliche Anordnung der Atome in beiden Säuren im Einklange steht, muss zunächst dem Entdecker derselben zu erörtern überlassen bleiben.

28. Stickstoffhaltige Abkömmlinge der Oxalsäure.

Tab. 138. Oxaminsäure, $CONH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	146.4	40.3	0.85
64	183.5	50.5	0.81
128	226.2	62.3	0.80
256	265.5	73.2	0.78
512	300.2	82.7	0.77
1024	327.0	90.1	0.80

$K = 0.80$

1) Die vorstehenden Messungen wurden gleichfalls in Riga gemacht.

Tab. 139. Oxalursäure, $CONHCONH^2.COOH$.

$\mu_\infty = 360.$

v	μ	m
64	284	78.9
128	311	86.4
256	330	91.7
512	342	94.8
1024	350	97.3

$K = 4.5$

Beide Säuren leiten sehr gut und kommen bei höheren Verdünnungen ihrem Maximum ganz nahe. Während sich aber bei der Oxaminsäure die Constante noch einigermaassen berechnen lässt (die Fehler machen sich mit dem 4- bis 10fachen Betrage geltend), so geht das bei der Oxalursäure nicht an, und man muss sich dort mit einer Schätzung begnügen.

Vergleicht man die Zahl mit der der Oxalsäure $K = 10$, so ergiebt sich, dass die Amidgruppe die Constanten auf etwa den zwölften Theil ihres Werthes herabgedrückt hat. Der Harnstoffrest dagegen übt nur einen sehr unerheblichen Einfluss aus; die Constante der Oxalursäure ist etwa die Hälfte von der der Oxalsäure. Es stimmt dies mit den sehr schwach basischen Eigenschaften des Harnstoffs überein.

Tritt das negative Phenyl in das Amid der Oxaminsäure, so wird die Säure stärker, wenn auch nicht erheblich. Durch Erhitzen von Oxalsäure mit Anilin in äquimolekularen Verhältnissen auf 140°, bis der theoretische Gewichtsverlust eingetreten war, und wiederholtes Umkrystallisiren, zunächst aus verdünnter Salzsäure, um Anilin zu entfernen, sodann aus reinem Wasser, stellte ich mir Oxanilsäure her, welche folgende Zahlen ergab:

Tab. 140. Oxanilsäure, $CO(NHC^6H^5)COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	161.2	46.0	1.22
64	200.5	57.2	1.20
128	241.7	68.9	1.19
256	279.6	79.7	1.22
512	308.1	87.8	1.23
1024	322.7	91.9	—

$K = 1.21$

Wendet mann statt des Anilins andere Amidverbindungen an, so lassen sich auf die eben beschriebene Weise sehr mannigfaltige Abkömmlinge der Oxalsäure gewinnen. Ich habe von solchen die *o*- und *p*-Chloroxanilsäure, sowie die *p*-Oxaltoluidsäure untersucht.

Tab. 141. *o*-Chloroxanilsäure, $CO(NHC^6H^4Cl)COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	191.9	54.8	2.07
64	233.1	66.4	2.05
128	270.0	76.8	1.98
256	302.4	85.8	2.02
512	323.0	91.9	2.02
1024	334.8	95.6	2.01

$K = 2.03$

Das in der Orthostelle befindliche Chloratom macht seine Wirkung durch eine Verstärkung der Säure geltend, doch beträgt dieselbe weit weniger, als die analoge Substitution in der Benzoesäure. Die Erklärung dafür ist die gleiche, wie sie bei den substituirten Phenylglycolsäuren gegeben wurde: die grössere Entfernung zwischen dem Carboxyl und dem substituirenden Chlor bedingt einen geringeren Einfluss desselben auf das Säurewasserstoffatom.

Noch geringer wird der Einfluss von der Parastelle des Phenyls aus, indem die entsprechende Säure nur wenig stärker ist, als die Oxanilsäure selbst.

Tab. 142. *p*-Chloroxanilsäure, $CO(NHC^6H^4Cl)COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	285.8	81.4	1.39
512	312.6	89.1	1.42
1024	330.0	93.8	1.40

$K = 1.40$

Eine aus Paratoluidin und Oxalsäure dargestellte *p*-Oxaltoluidsäure erwies sich etwas schwächer, als Oxanilsäure, was durch den basischen Charakter des Methyls erklärlich ist.

Tab. 143. *p*-Oxaltoluidsäure, $CO(NHC^7H^7)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	223.5	64.0	0.89
256	263.1	75.3	0.90
512	292.3	83.9	0.85
1024	314.8	90.7	0.86

$K = 0.88$

29. Abkömmlinge der Malonsäure. Oxymalonsäure oder Tartronsäure, von Schuchardt bezogen, ergab:

Tab. 144. Tartronsäure, $CH(OH)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	60.19	16.87	0.107
64	81.86	22.97	0.107
128	109.7	30.75	0.107
256	144.0	40.4	0.107
512	186.0	52.1	0.110
1024	234.2	65.6	0.122
2048	285.0	79.9	0.155

$K = 0.107$

Die Constante der Malonsäure ist 0.158; durch den Eintritt des Hydroxyls wird die Säure also schwächer.

Benzalmalonsäure stellte ich mir nach den Angaben von Claisen und Crismer aus Benzaldehyd und Malonsäure dar.

Tab. 145. Benzalmalonsäure, $C^6H^5C = C(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	106.7	30.2	0.409
64	140.3	39.8	0.411
128	178.6	50.6	0.405
256	219.9	62.3	0.403
512	259.5	73.6	0.404
1024	294.1	83.4	0.409
2048	321.1	90.9	0.444

$K = 0.408$

Die Säure ist 2.8 mal stärker, als Malonsäure ($K = 0.158$), was als Folge der Doppelbindung wohl erklärlich ist. Sehr merkwürdig

ist dagegen, dass die Säure so gut sich dem Verdünnungsgesetz einbasischer Säuren anschliesst; von der sonst fast stets eintretenden Zunahme der Constanten über $m = 0.5$ hinaus lässt sich nichts erkennen, und erst bei $m = 0.9$ scheint das zweite Wasserstoffatom seine Mitwirkung zu beginnen.

Tab. 146. Malonanilsäure, $CH^2(CONHC^6H^5)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	37.14	10.61	0.0197
128	51.62	14.74	0.0199
256	69.64	19.88	0.0193
512	94.39	26.92	0.0194
1024	126.3	36.01	0.0198

$K = 0.0196$

Die Constante ist durch den Eintritt des Anilinrestes auf etwa den achten Theil ihres Werthes herunter gegangen, während bei der Oxalsäure das Verhältniss rund 40 : 1 beträgt. Es tritt hier wiederum mit grösster Deutlichkeit dər Einfluss der relativen Entfernung der wirkenden Stoffe zu Tage; denn der basische Anilinrest findet sich in der Malonanilsäure durch zwei Kohlenstoffatome, bei der Oxanilsäure nur durch eines vom Carboxyl getrennt.

30. Oxybernsteinsäuren. Von den sehr mannigfaltigen Abkömmlingen der Bernsteinsäure, welche durch Vertretung von Radicalwasserstoffatomen entstehen, habe ich folgende untersucht.

Tab. 147. Aepfelsäure, $C^2H^3(OH)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	37.90	10.64	0.0396
64	53.08	14.64	0.0393
128	71.52	20.10	0.0396
256	96.38	27.10	0.0394
512	128.1	36.0	0.0396
1024	166.6	46.8	0.0402
2048	213.0	59.8	0.0434

$K = 0.0395$

Die Aepfelsäure zeigt, wie gewöhnlich die zweibasischen Säuren, bis etwa $m = 50$ hinauf das Verhalten der einbasischen; darüber

hinaus nimmt die Leitfähigkeit zu. Im Verhältniss zur Bernsteinsäure ($K = 0.00667$) ist die Constante auf etwa den sechsfachen Werth gestiegen. Der Einfluss ist etwas geringer, als der bei den einbasischen Fettsäuren, wo Hydroxyl eine Vermehrung auf das 8.5- bis 10fache bewirkt.

Die von der gewöhnlichen, optisch activen Aepfelsäure verschiedene, inactive krystallisirende Aepfelsäure aus Monobrombernsteinsäure (von Schuchardt bezogen) habe ich gleichfalls untersucht; sie ergab:

Tab. 148. Inactive Aepfelsäure, $C^2H^3(OH)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	53.5	14.75	0.0399
128	71.8	20.18	0.0399
256	97.2	27.30	0.0401
512	128.6	36.15	0.0400
1024	166.6	46.8	0.0402
2048	212.2	59.7	0.0432

$K = 0.0399$

Die Leitfähigkeit dieser Säure stimmt vollkommen mit der der activen überein, beide stehen also in demselben Verhältniss wie Wein- und Traubensäure, indem die inactive Aepfelsäure in krystallisirter Gestalt eine Verbindung, in wässeriger Lösung dagegen nur ein Gemenge gleicher Antheile rechter und linker activer Säure darstellt. Die Uebereinstimmung beider Tabellen schliesst jede Möglichkeit aus, der inactiven Säure eine andere Constitution beizulegen, als der activen.

In meiner früheren Arbeit[1]) habe ich, wie erwähnt, gezeigt, dass die gewöhnliche Rechtsweinsäure und die Traubensäure vollkommen gleiche Leitfähigkeit besitzen, und habe daraus den Schluss gezogen, dass letztere in verdünnten wässrigen Lösungen überhaupt nicht existirt, sondern in rechte und linke Weinsäure, welche beide gleich gut leiten, zerfällt. Dieser Schluss ist inzwischen von anderer Seite auf anderen Wegen bestätigt worden, so von Raoult[2]) mittelst

1) Journ. f. pr. Ch. **32**, 340. 1885.

2) Ztschr. f. physik. Chem. **1**, 186. 1887.

seiner kryoskopischen Methode und von Perkin[1]) durch die magnetische Drehung. Gegenwärtig kann ich jenen Schluss durch Messungen an linker Weinsäure ergänzen, welche der Erwartung gemäss eine vollständige Uebereinstimmung mit der rechten Weinsäure ergeben haben. Das untersuchte Präparat bot noch insofern ein besonderes Interesse dar, als es von dem Entdecker der linken Säure, L. Pasteur, selbst herstammt; ich fand es in den Sammlungen des früheren O. L. Erdmann'schen Laboratoriums vor.

Tab. 149. Rechtsweinsäure, $C^2H^2(OH)^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	41.55	11.67	0.096
32	57.60	16.20	0.098
64	78.76	22.12	0.098
128	106.2	29.85	0.099
256	141.5	39.80	0.103
512	184.5	51.8	0.109
1024	236.0	66.3	0.127
2048	291.1	81.8	0.179

$K = 0.097$

Tab. 150. Linksweinsäure, $C^2H^2(OH)^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	57.60	16.19	0.097
64	78.46	22.04	0.097
128	105.6	29.70	0.097
256	140.5	39.50	0.104
512	183.2	51.5	0.107
1024	234.0	65.8	0.123
2048	289.5	81.4	0.174

$K = 0.097$

1) Journ. Chem. Soc. 52, 362. 1887.

Tab. 151. Traubensäure, $C^2H^4(OH)^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	57.60	16.19	0.097
64	78.46	22.04	0.097
128	106.0	29.80	0.098
256	140.3	39.45	0.101
512	182.5	51.3	0.107
1024	232.1	65.3	0.120
2048	288.0	81.0	0.169

$K = 0.097$

Die Zahlen der drei Tabellen stimmen innerhalb der möglichen Beobachtungsfehler, die in Summa etwa 1% der Leitfähigkeiten erreichen können, überein. In den viel grösseren Abweichungen der Endwerthe in den Spalten für K erkennt man den grossen Einfluss, welchen geringe Verschiedenheiten von m auf die Constanten haben, wenn die relative Leitfähigkeit einen höheren Werth, 80 bis 90 Einheiten, annimmt. Was im übrigen das Verhalten dieser drei zweibasischen Säuren anlangt, so sieht man, dass bis zu einer Verdünnung von 200 l hinauf die Dissociation sich wesentlich auf ein Wasserstoffatom beschränkt und das zweite erst darüber hinaus in dem schnellen Anwachsen der K-Werthe erkennbar sich bethätigt.

Beim Vergleich der Constanten für Bernsteinsäure, Aepfelsäure und Weinsäure, welche resp. 0.00666, 0.0397 und 0.097 betragen, ergiebt sich, dass das zweite Hydroxyl eine viel geringere Vermehrung der Leitfähigkeit bewirkt, als das erste. In der That muss dasselbe für das Verdünnungsgebiet, in welchem die Weinsäure hier untersucht wurde, und in welchem die Dissociation nach dem Schema $HOCO.CH(OH).CH(OH).COO \mid H$ erfolgt, als ein β-Hydroxyl in Bezug auf das thätige Carboxyl betrachtet werden. Für β-Hydroxyl hat sich aber der Factor (bei Propionsäure : β-Oxypropionsäure) zu 2.3 ergeben, während er hier 2.4 beträgt. Diese Uebereinstimmung ist andererseits eine gute Bestätigung für die Richtigkeit der Vorstellung, dass die Elektrolyse schwächerer zweibasischer Säuren nach dem Schema der einbasischen erfolgt.

31. Stickstoffhaltige Abkömmlinge der Bernsteinsäure. Succinanilsäure und ihre Derivate wurden durch De-

stillation äquimolekularer Mengen von Bernsteinsäure und Anilin, resp. substituirtem Anilin, Kochen der überdestillirten Succinanile mit Kalkmilch und Fällung der klaren Filtrate der Kalksalze mit Salzsäure erhalten. Sie sind sämmtlich in kaltem Wasser schwer löslich und liessen sich daher durch mehrmaliges Umkrystallisiren leicht reinigen. Sie ergaben:

Tab. 152. Succinanilsäure, $C^2H^4(CONHC^6H^5)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	12.16	3.47	0.00195
128	17.28	4.93	0.00199
256	24.60	7.02	0.00207
512	34.24	9.78	0.00207
1024	47.26	13.50	0.00205

$K = 0.00203$

Tab. 153. o-Chlorsuccinanilsäure, $C^2H^4(CONHC^6H^4Cl)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	17.74	5.16	0.00206
256	24.65	7.03	0.00207
512	34.52	9.86	0.00210
1024	47.64	13.65	0.00210

$K = 0.00208$

Tab. 154. m-Chlorsuccinanilsäure, $C^2H^4(CONHC^6H^4Cl)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	17.38	4.96	0.00202
256	24.74	7.06	0.00210
512	34.71	9.93	0.00213
1024	47.22	13.70	0.00212

$K = 0.00209$

Tab. 155. p-Chlorsuccinanilsäure, $C^2H^4(CONHC^6H^4Cl)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	17.30	4.94	0.00200
256	24.68	7.07	0.00210
512	34.69	9.92	0.00213
1024	47.85	13.75	0.00214

$K = 0.00209$

Tab. 156. *o*-Succintoluidsäure, $C^2H^4(CONHC^7H^7)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	12.29	3.51	0.00200
128	17.49	4.99	0.00205
256	24.80	7.08	0.00211
512	34.55	9.87	0.00211
1024	47.31	13.60	0.00209

$K = 0.00208$

Tab. 157. *p*-Succintoluidsäure, $C^2H^4(CONHC^7H^7)COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	23.71	6.77	0.00192
512	33.19	9.47	0.00193
1024	45.85	13.10	0.00193

$K = 0.00193$

Die Constante der Succinanilsäure, 0.00203, ist nur um das 3.3 fache kleiner, als die der Bernsteinsäure; der Einfluss des basischen Anilinrestes ist daher schon sehr gering geworden.

Die Zahlen, welche ich für die Derivate der Succinanilsäure erhalten habe, sind äusserst monoton; sie bewegen sich innerhalb weniger Einheiten um die Constante der Succinanilsäure. Es ist das eine ungemein deutliche Illustration des massgebenden Einflusses der mehr oder weniger directen Bindung, oder kurz der Entfernung des wirksamen Elements von dem Säurewasserstoff. In den substituirten Succinanilsäuren ist die Grenze, bei welcher eben noch die letzten Spuren der Wirkung sich erkennen lassen, erreicht, ja fast überschritten. Die aus ganz anderen Betrachtungen gezogene Folgerung, dass die Wirkung der »Molekularkräfte« mit der Entfernung sehr schnell abnimmt und schon in unmessbar kleinen Distanzen Null wird, findet an den vorstehend beschriebenen Stoffen eine Bestätigung und zahlenmässige Veranschaulichung. Es lässt sich sogar schon sagen, dass wir unmittelbar vor der Möglichkeit einer exacten Messung dieser Wirkungsbereiche stehen, da durch die Bestimmung der Wanderungsgeschwindigkeit dieser molekularen Complexe, welche ich vor Kurzem in einigem Umfange durchgeführt habe[1]), eine Aus-

1) Ztschr. f. physikal. Chemie **2**, 840. 1888.

werthung ihrer mittleren Durchschnitte und somit ihrer Dimensionen möglich gemacht zu sein scheint.

Da Harnstoff eine noch schwächere Basis ist, als Anilin, so lässt sich erwarten, dass die Succinursäure etwas stärker, als Succinanilsäure sich erweisen wird. Ich habe die Substanz nach den Angaben von Pike[1]) hergestellt und nach wiederholtem Umkrystallisiren ihre Reinheit durch Titration gewogener Mengen controlirt.

Tab. 158. Succinursäure, $C^2H^4(CONHCONH^2)COOH$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	15.21	4.32	0.00305
128	21.59	6.13	0.00313
256	30.18	8.58	0.00314
512	41.84	11.88	0.00313
1024	57.43	16.34	0.00311

$K = 0.00311$

Die Constante der Bernsteinsäure ist 0.00667; durch den Eintritt des Harnstoffrestes ist sie nur auf etwas weniger als die Hälfte ihres Werthes herabgegangen, während die der Succinanilsäure kleiner als ein Drittel derselben ist.

Noch etwas weniger wird die Constante der Bernsteinsäure durch den Rest des Schwefelharnstoffs beeinflusst. Ich stellte die Succinthionursäure gleichfalls nach den Angaben von Pike her und controlirte sie auf die erwähnte Weise.

---

1) Ber. **6**, 1104. 1873. An dieser Stelle will ich erwähnen, dass das zur Darstellung dieser und der folgenden Säure erforderliche Bernsteinsäureanhydrid sich mit leichter Mühe gewinnen liess, indem Bernsteinsäure in einer Retorte mit aufwärts gerichtetem Halse so im Sieden erhalten wurde, dass der Retortenhals etwas über 100° heiss wurde. Die Siedetemperatur steigt allmählich, indem aus dem Gemenge der Dämpfe von Bernsteinsäureanhydrid und Wasser ersteres wieder verdichtet wird, während letzteres entweicht. Ist nach einigen Stunden die Temperatur constant geworden, so wendet man den Retortenhals nach unten und destillirt das nahezu reine Anhydrid über.

Tab. 159. Succinthionursäure, $C^2H^4(CONHCSNH^2)COOH$.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	100 m	100 k
64	15.80	4.48	0.00329
128	22.20	6.30	0.00330
256	31.15	8.83	0.00334
512	43.47	12.31	0.00337
1024	59.46	16.85	0.00333

$K = 0.00333$

Das Sulfoharnstoffderivat der Bernsteinsäure ist noch etwas stärker, als die entsprechende Harnstoffverbindung, doch ist der Unterschied sehr gering. Dies Ergebniss entspricht durchaus den oben mitgetheilten Erfahrungen an substituirten Succinanilsäuren: die Entfernung des Schwefels im Sulfoharnstoffrest vom Carboxyl ist so erheblich, dass die Wirkung des negativen Elementes kaum noch merklich ist.

32. Benzoldicarbonsäuren. Die drei Phtalsäuren lassen unter einander ähnliche durch die gegenseitige Stellung der Carboxyle bedingte Unterschiede erkennen, wie die substituirten Benzoesäuren.

Tab. 160. o-Phtalsäure, $C^6H^4(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	100 m	100 k
64	85.9	24.3	0.121
128	114.2	32.3	0.121
256	148.8	42.1	0.120
512	189.3	53.5	0.120
1024	232.1	65.6	0.122
2048	274.8	77.6	0.131

$K = 0.121$

Die Constante der Benzoesäure 0.0060 ist durch den Eintritt des Carboxyls in die Orthostelle auf den 20fachen Werth gestiegen. Zwischen den beiden Carboxylen derselben befinden sich zwei Kohlenstoffatome; die Umwandlung der Benzoesäure in Phtalsäure entspräche also der der Propionsäure in Bernsteinsäure. Die Constanten der letzteren sind 0.00134 und 0.00665, das Verhältniss ist 1 : 5, also viel kleiner. Daraus geht hervor, dass die gegenseitige Be-

einflussung der beiden Carboxyle am Benzolkern viel erheblicher ist, als an der »geraden« Kette. Zwischen Essigsäure und Malonsäure beträgt das Verhältniss 1 : 88; die Wirkung über ein Kohlenstoffatom in der geraden Kette ist also stärker, als die durch die Orthostellung am Benzol bedingte. Das gleiche Ergebniss findet man für die Wirkung anderer Substituenten, so bedingt z. B. Chlor in der Orthostelle den Factor 22, in der α- und β-Stelle der geraden Kette dagegen 85 und 7.

Für die m-Phtalsäure benutze ich meine älteren Messungen:

Tab. 161*. m-Phtalsäure, $C^6H^4(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
512	142	31.7	0.0287
1024	147	41.5	0.0288
2048	190	53.6	0.0303

$K = 0.0287$

Die m-Phtalsäure ist nur noch 4.8 mal stärker, als die Benzoesäure; die Wirkung entspricht angenähert der über zwei Kohlenstoffatome der geraden Kette.

Die dritte isomere Verbindung, die Terephtalsäure, ist zu wenig löslich, als dass man sie untersuchen könnte. Doch lässt sich eine annähernde Bestimmung ihrer Constante auf einem Umwege erreichen. Von v. Barth habe ich eine Probe Oxyterephtalsäure erhalten, aus deren Zahl sich die der Terephtalsäuren ableiten lässt.

Tab. 162. Oxyterephtalsäure, $C^6H^3(OH)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	198.5	55.9	0.277
512	243.0	68.5	0.291
1024	290.5	81.8	0.359
2048	339.3	95.7	—

$K = 0.25$

Wie man aus den anwachsenden Zahlen der letzten Spalte sieht, befindet sich die Säure bereits im Gebiet der zweiten Dissociationsstufe, doch dürfte der Werth der Constanten für das erste Gebiet sich auf annähernd 0.25 schätzen lassen. Nun bedingt das

in der Orthostelle befindliche Hydroxyl bei der Benzoesäure eine Vergrösserung der Constanten auf das 17fache. Nimmt man, was von der Wahrheit nicht weit abweichen wird, für Terephtalsäure einen gleichen Einfluss an, so wird die Constante derselben auf 0.014 bis 0.015 zu schätzen sein. Der Werth ist etwas mehr als doppelt so gross, als der der Benzoesäure, 0.0060. Der Einfluss ist somit noch geringer, als von der Metastelle, was gleichfalls den Verhältnissen der Chlorbenzoesäuren entspricht. Doch bedingt das Para-Carboxyl nicht, wie Hydroxyl an derselben Stelle, eine Schwächung der Säure, sondern eine, wenn auch unerhebliche Verstärkung, die etwa dem Verhältniss zwischen Valerian- und Adipinsäure entspricht.

33. Abkömmlinge der Phtalsäure. Die Berechnung meiner älteren Messungen an den beiden Nitrophtalsäuren ergiebt folgende Zahlen:

Tab. 163*. α-Nitrophtalsäure, $C^6H^3(NO^2)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	125	35.5	1.22
32	164	46.6	1.27
64	203	57.7	1.22
128	244	69.3	1.22
256	283	80.0	1.25
512	314	89.2	1.44
1024	342	97.2	—
2048	367	—	—

$K = 1.22$

Tab. 164*. β-Nitrophtalsäure, $C^6H^3(NO^2)(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	90.7	25.8	0.56
32	124	35.3	0.60
64	162	46.1	0.62
128	203	57.7	0.61
256	244	69.3	0.61
512	282	80 2	0.63
1024	315	89.6	0.75
2048	347	—	—

$K = 0.60$

Die Constante der Phtalsäure ist durch den Eintritt der Nitrogruppe auf das zehn-, resp. fünffache erhöht worden. In der α-Nitrophtalsäure befindet sich das Nitryl in der Orthostelle in Bezug auf das eine Carboxyl, ein Verhältniss, das bei der Benzoesäure eine Steigerung der Constanten auf den hundertfachen Werth bewirkt. Die gleichzeitige Anwesenheit der beiden Substituenten, Carboxyl und Nitryl, beeinträchtigt somit auffälliger Weise ihre Wirkung im höchsten Grade. Bei der β-Nitrophtalsäure dagegen, welche die Nitrogruppe in der Metastelle zu einem, in der Parastelle zum anderen Carboxyl enthält, stimmt der Einfluss derselben numerisch mit dem an der Benzoesäure ziemlich nahe überein; m- und p-Nitrobenzoesäure haben eine 5.7, resp. 6.6 mal grössere Constante, als ihre Muttersubstanz.

Von Schuchardt habe ich eine Chlorphtalsäure bezogen, welche nach dem Reinigen durch Umkrystallisiren ergab:

Tab. 165. Chlorphtalsäure, $C^6H^3Cl(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	259	72.3	3.0
128	301	84.9	3.7
256	345	97.3	—
512	392	—	—
1024	446	—	—
2048	506	—	—

$K = 2.5$

Die Chlorphtalsäure befindet sich innerhalb der untersuchten Verdünnungen bereits im zweiten Stadium der Dissociation, so dass sich die Constante nur mehr schätzen lässt. Dieselbe ist etwa 20 mal grösser, als die der Phtalsäure, was sehr nahe dem Verhältniss zwischen Benzoesäure und o-Chlorbenzoesäure, 22, entspricht. Die Substanz wird dadurch als o-Chlorphtalsäure charakterisirt, in Uebereinstimmung mit ihrer wahrscheinlichen Darstellung aus α-Chlornaphtalin. Um so auffälliger wird das oben erwähnte Verhalten der α-Nitrophtalsäure.

Andere Abkömmlinge der Phtalsäure werden durch Substitution in einem Carboxyl erhalten. Nach den Angaben von O. Aschan[1]) stellte ich Phtalaminsäure aus Phtalimid her, und erhielt:

1) Ber. 19, 1401. 1886.

Tab. 166. Phtalaminsäure, $C^6H^4(CONH^2)COOH$.

$\mu_\infty = 353$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	24.20	6.88	0.0159
64	33.99	9.62	0.0160
128	47.06	13.33	0.0160
256	64.83	18.37	0.0161
512	88.07	24.95	0.0162
1024	116.6	33.05	0.0159

$K = 0.0160$

Auch an dieser Säure lässt sich der bedeutende Einfluss der in der Orthostelle eintretenden Substituenten erkennen; die Constante der Phtalsäure ist durch das Amid auf den 7.5ten Theil heruntergegangen. Doch ist die Säure immerhin noch 2.7 mal stärker, als die Benzoesäure.

Mit Phtalanilsäure erhielt ich schwankende Zahlen; die Ursache davon habe ich noch nicht aufgesucht.

Nach den Angaben von Piutti hergestellte Phtalursäure ergab:

Tab. 167. Phtalursäure, $C^6H^4(CONHCONH^2)COOH$.

$\mu_\infty = 350$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	44.27	12.65	0.0287
128	61.44	17.58	0.0293
256	83.36	23.90	0.0290
512	111.7	31.95	0.0293
1024	145.0	41.50	0.0288

$K = 0.0290$

Die Constante ist, wie sich voraussehen liess, kleiner als die der Phtalsäure, dagegen aber grösser, als die der Phtalaminsäure; das Verhältniss zur ersteren ist 1 : 4.2. In der Bernsteinsäure bedingt die entsprechende Substitution ein Verhältniss von 1 : 2.2, der Einfluss ist also, wie immer, grösser bei der Phtalsäure, gleichgültig ob er in einer Verminderung oder in einer Vermehrung der sauren Eigenschaften besteht.

34. Maleïn- und Fumarsäure. Schon in meiner älteren Abhandlung habe ich die grosse Verschiedenheit zwischen den Leit-

fähigkeiten der Maleïn- und der Fumarsäure hervorgehoben. Neuere Messungen bestätigten die früheren Beobachtungen.

Tab. 168. Maleïnsäure, $C^2H^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	168	47.0	1.30
64	205	57.4	1.21
128	245	68.5	1.16
256	282	78.8	1.14
512	312	87.4	1.15
1024	331	92.8	1.17
2048	350	98.2	—

$K = 1.17$

Die Werthe für K zeigen bei der Maleïnsäure einen eigenthümlichen Gang, indem sie zuerst abnehmen, um dann nahezu constant zu werden. Die Leitfähigkeit nach Art der einbasischen Säuren bleibt ungewöhnlich lange bestehen; noch bei einer primären Dissociation von 90 Procent wird die Dissociationsgleichung nahezu erfüllt.

Tab. 169. Fumarsäure, $C^2H^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	56.4	15.8	0.093
64	77.4	21.7	0.094
128	104.5	29.3	0.095
256	139.0	39.0	0.097
512	179.5	50.3	0.099
1024	228.0	63.9	0.110
2048	280.2	78.5	0.140

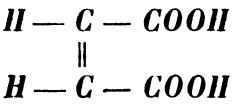
$K = 0.093$

Die Constante der Fumarsäure ist 12mal kleiner als die der Maleïnsäure, und die Dissociation des zweiten Wasserstoffatoms beginnt, wie gewöhnlich bei zweibasischen Säuren, wenn etwas mehr als 50% dissociirt sind, deutlich zu werden.

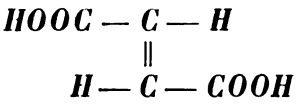
Ich habe in meiner früheren Abhandlung diese damals schätzungsweise festgestellten Beziehungen zu Gunsten der von Fittig vorgeschlagenen Formeln beider Säuren gedeutet, indem ich die Voraus-

setzung machte, dass das auffällige Zurücktreten des zweiten Carboxyls in der Maleïnsäure in einer unsymmetrischen Constitution derselben ihren Grund habe. Nach den inzwischen gemachten Erfahrungen kann die Voraussetzung nicht mehr als unbedingt gültig angesehen werden. Phtalsäure, deren symmetrische Constitution ausser Zweifel steht, zeigt erst bei 75% Dissociation ein Ansteigen der Werthe und das Gleiche gilt für die ebenfalls symmetrische Malonsäure und Benzalmalonsäure.

Eine andere Auffassung der Isomerieverhältnisse beider Säuren ist von van 'tHoff begründet, und von Wislicenus durch eigene Betrachtungen in weitem Umfange mit den Thatsachen im Einklange gefunden worden. Nach diesen Forschern sind beide Säuren räumlich isomer und entsprechen folgenden Formeln:



Maleïnsäure



Fumarsäure

Mit dieser Anschauung steht im Einklange, dass die Maleïnsäure, entsprechend der viel grösseren Nähe ihrer Carboxyle, so sehr viel stärker ist, als Fumarsäure. Die Ursache des verschiedenen Einflusses der Verdünnung auf beide Säuren bleibt hier, wie in anderen Fällen, noch aufzuklären.

Noch weit stärker, als Maleïnsäure ist die durch Bromwasserstoffabspaltung aus der symmetrischen Bibrombernsteinsäure entstehende Brommaleïnsäure. Ein von mir dargestelltes Präparat ergab:

Tab. 170. Monobrommaleïnsäure, $C^2HBr(COOH)^2$.

v	μ
16	238
32	263
64	290
128	312
256	330
512	345
1024	355
2048	367

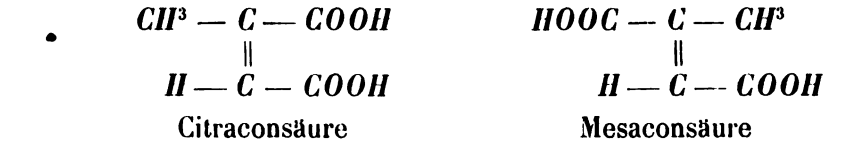
Die Säure ist dem ersten Maximum so nahe, dass eine Constante sich nicht berechnen lässt. Entzieht man der Säure weiter Bromwasserstoff, so entsteht Acetylenbicarbonsäure, deren Leitfähigkeit noch grösser ist, als die der Brommaleïnsäure. Die merkwürdige Thatsache, dass ein Stoff durch Entziehung von Halogenwasserstoff sauere Eigenschaften annehmen kann, ist schon früher bei Gelegenheit der β-Chlorcroton- und Tetrolsäure (S. 41) erwähnt worden. Sie ist indessen nicht allein auf den Uebergang der doppelten zur dreifachen Bindung beschränkt, denn auch die Bibrombernsteinsäure leitet weniger gut, als die Monobrommaleïnsäure.

Tab. 171. Acetylenbicarbonsäure, $C^2(COOH)^2$.

v	μ
64	467
128	525
256	592
512	656
1024	721
2048	773

Die Leitfähigkeit der Acetylenbicarbonsäure kommt der der Schwefelsäure nahe. Es zeigt sich hier die eminent basische Natur des Wasserstoffs in besonders deutlicher Weise. Aus der Bernsteinsäure, die so schwach ist, dass ihr neutrales Ammoniaksalz auf dem Wasserbade die Hälfte seiner Basis verliert, entsteht durch Wegnahme von vier Wasserstoffatomen eine Säure, die sich den stärksten anorganischen Säuren unmittelbar an die Seite stellt.

35. Die Brenzcitronensäuren. Nach den Auseinandersetzungen von Wislicenus[1]) sind Citracon- und Mesaconsäure in derselben Weise räumlich isomer, wie Maleïn- und Fumarsäure:



Citraconsäure

Mesaconsäure

1) Abh. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. **24**, 37. 1887.

Tab. 172. Citraconsäure, $C^3H^4(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
68.3	135.0	38.1	0.344
136.5	172.2	48.6	0.337
273	214.0	60.3	0.335
546	253.2	71.4	0.327
1092	288.0	81.2	0.321
2184	315.3	88.8	0.344

$K = 0.340$

Die Constante ist etwa ein Drittel von der der Maleïnsäure, das eingetretene Methyl übt also einen ziemlich erheblichen Einfluss, der indessen kleiner ist, als es ihn in der Ameisensäure beim Uebergang in Essigsäure bethätigt.

Tab. 173. Mesaconsäure, $C^3H^4(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
47.95	63.0	17.7	0.0794
95.9	85.0	24.0	0.0790
191.8	113.6	32.0	0.0788
383.6	148.5	41.9	0.0788
767.2	189.6	53.4	0.0798
1534.2	235.4	66.4	0.0856
3068.4	279.1	78.7	0.0948

$K = 0.0790$

Die Constante der Mesaconsäure, 0.079, ist nur wenig kleiner, als die der Fumarsäure, 0.090. Nach den oben angegebenen Formeln war ein solches Verhältniss nicht vorauszusehen, weil gerade bei der Mesaconsäure das Methyl, welches beide Säuren schwächer gemacht hat, als ihre niederen Homologen, sich in viel unmittelbarerer Nähe des einen Carboxyls befindet, als bei der Citraconsäure. Es wäre somit eher zu erwarten gewesen, dass die Schwächung bei dieser viel weniger betragen müsse, als bei der Mesaconsäure. Doch möchte ich auf diesen Widerspruch noch kein grosses Gewicht legen. Denn die Wirkungsweise der substituirenden Elemente und Radicale ist so mannigfaltig, dass zur Zeit Schlüsse aus diesen Verhältnissen nur innerhalb engerer Gruppen analoger Stoffe sich mit Sicherheit ziehen lassen.

Beachtung verdient, dass in Bezug auf das Verhalten bei steigender Verdünnung die Citracon- und Mesaconsäure mit der Maleïn- und Fumarsäure die grösste Aehnlichkeit zeigen. Erstere zeigt keinerlei Zunahme der Constanten bis zu $m = 0.9$ hinauf, während die zweite, wie gewöhnlich zweibasische Säuren von $m = 0.5$ ab, die Mitwirkung des zweiten Carboxyls erkennen lässt.

Der dritten isomeren Verbindung kommt die Formel

$$\begin{array}{l} CH^2 = C - COOH \\ \quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad\quad H^2C - COOH \end{array}$$

einer Methylenbernsteinsäure zu. Die Leitfähigkeit ist derselben entsprechend sehr gering.

Tab. 174. Itaconsäure, $C^3H^4(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
11.11	12.82	3.61	0.0121
22.22	17.85	5.63	0.0120
44.44	25.18	7.07	0.0121
88.89	34.80	9.81	0.0120
177.8	48.00	13.52	0.0119
355.6	64.88	18.30	0.0115
711.1	87.31	24.60	0.0113
1422	115.9	32.70	0.0116

$K = 0.0120$

Die Constante der Bernsteinsäure ist 0.00665, die der Itaconsäure ist somit weniger als doppelt so gross. Es macht, wie man sieht, einen sehr grossen Unterschied, ob die Doppelbindung zwischen den mit Carboxylen behafteten Kohlenstoffatomen stattfindet, oder nicht; im ersten Falle ist die gegenseitige Einwirkung der Carboxyle ganz erheblich kräftiger, als im zweiten.

36. Thiophensäuren und Verwandtes. Als vor drei Jahren die Constitution der Carbonsäuren des Thiophens noch zweifelhaft war, gab ich dem Entdecker derselben, V. Meyer, gegenüber der Ueberzeugung Ausdruck, dass sich die Frage durch Messung der Leitfähigkeiten der Säuren sehr sicher entscheiden lasse: diejenige Säure, deren Carboxyl dem Schwefelatom benachbart ist, muss viel stärker sein, als die isomere Verbindung. In entgegenkommender Weise stellte mir derselbe Proben der damals α- und β-Thio-

phensäure genannten Stoffe zur Verfügung, die ich mit folgenden Ergebnissen untersuchte.

Tab. 175. α-Thiophensäure[1]), $C^4H^3S.COOH$.

$\mu_\infty = 359.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	42.9	11.95	0.0254
128	58.8	16.37	0.0251
256	79.8	22.21	0.0248
512	105.8	29.50	0.0241
1024	136.5	38.07	0.0229

Tab. 176. β-Thiophensäure[1]), $C^4H^3S.COOH$.

$\mu_\infty = 359.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	46.9	13.07	0.0307
128	64.2	17.91	0.0305
256	86.7	24.15	0.0300
512	115.1	32.10	0.0297
1024	150.2	42.11	0.0300

$K = 0.0302$

Wie zu erwarten war, sind beide Säuren infolge der Wirkung des Schwefels bedeutend stärker, als Benzoesäure ($K = 0.0060$). Der Unterschied der Leitfähigkeiten aber ist weit geringer als man erwarten durfte, und ich musste dem Entdecker mittheilen, die Beobachtungen entsprächen so wenig meinen Voraussetzungen, dass ich keine Schlüsse zu ziehen mich berechtigt sähe; eine Veröffentlichung der Zahlen unterblieb daher.

Inzwischen[2]) hat sich bekanntlich die Angelegenheit so aufgeklärt, dass der früher β-Thiophensäure genannte Stoff die eigentliche α-Thiophensäure

ist, während die frühere α-Säure sich als ein Gemenge beider Isomeren herausgestellt hat. Wäre ich zu jener Zeit schon im Besitz der rationellen Verdünnungsformel gewesen, so hätte ich sogar aus der Abnahme der Constanten,

1) Alte Bezeichnung.

2) L. A. 236, 200. 1887.

welche die Tab. 175 erkennen lässt, den Schluss ziehen können, dass ein Gemenge vorliegt.

Die früher sogenannte γ-Säure habe ich noch nicht in Händen gehabt; dass sie aber unzweifelhaft schwächer ist, als die wahre α-Säure, geht aus den kleineren Werthen der Tab. 175 gegenüber denen der Tab. 176 hervor, denn die wahren Werthe der Leitfähigkeit können nur noch kleiner sein, als die Zahlen der Tab. 175. Somit bestätigt sich die oben gemachte Voraussetzung über die Beziehung zwischen der Constitution und der Leitfähigkeit der Thiophencarbonsäuren.

Im Anschluss an die Thiophensäuren theile ich meine Messungsergebnisse an Brenzschleimsäure, $C^4H^3O.COOH$, mit. Das untersuchte Präparat war von mir aus Furfurol und Kali dargestellt und durch langsame Sublimation in vollkommen reinem Zustande erhalten worden.

Tab. 177. Brenzschleimsäure, $C^4H^3O.COOH$.

$\mu_\infty = 359.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	36.11	10.05	0.0702
32	50.48	14.07	0.0721
64	69.09	19.27	0.0720
128	93.27	26.00	0.0714
256	112.9	34.25	0.0697
512	158.7	44.22	0.0684
1024	202.0	56.35	0.0710

$K = 0.0707$

Die Constante der Brenzschleimsäure ist doppelt so gross, wie die der (wahren) α-Thiophensäure. Dies Verhalten ist unerwartet, da im Allgemeinen Schwefel negativer ist, als Sauerstoff.

Aus der grossen Leitfähigkeit der Brenzschleimsäure, welche der der Salicylsäure ($K = 0.102$) nahe kommt, lässt sich mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit schliessen, dass sie die α-Carbonsäure des Furfurans ist und demgemäss die Structur

besitzt.

37. Monocarbonsäuren des Pyridins. Die Untersuchung dieser interessanten Körpergruppe ist mir durch die entgegenkom-

mende Güte mehrerer Fachgenossen in weitem Umfange möglich geworden; besonderen Dank schulde ich Hantzsch, Skraup und Weidel.

Tab. 178. Picolinsäure, $C^5H^4N.COOH$.

$\mu_\infty = 357$.

v	μ (Weidel)	μ (Skraup)	$100\,m$ (Mittel)	$100\,k$
64	6.46	6.59	1.83	0.000532
128	8.77	8.92	2.48	0.000493
256	11.99	12.03	3.37	0.000458
512	16.23	16.09	4.53	0.000420
1024	21.97	21.35	6.07	0.000383

$K = 0.0003$

Gleich der erste Stoff dieser an Räthseln reichen Körpergruppe bringt ein Problem. Die Werthe der letzten Spalte zeigen sich nicht constant, sie nehmen ab, wie das allgemein bei Gemengen stattfindet. Die Möglichkeit aber, dass ein unreiner Stoff im gewöhnlichen Sinne vorliegt, ist ausgeschlossen, da einerseits mir die Präparate von den genannten Forschern als rein mitgetheilt wurden, andererseits die Messungen an den von Weidel und von Skraup unabhängig erhaltenen Stoffen innerhalb der zu erwartenden Fehlergrenzen übereinstimmen. Es bietet sich als wahrscheinlichste Annahme die dar, dass die bisherige Picolinsäure eine Gemenge von zwei Isomeren ist, welche durch die gewöhnlichen Hilfsmittel nicht getrennt werden können, ähnlich, wie dies bei den Thiophensäuren beobachtet worden war. Andererseits muss freilich erwogen werden, ob nicht bei der ausgesprochen basischen Natur dieser Säure sich aus je zwei Molekeln derselben ein wirkliches Salz, picolinsaure Picolinsäure, bilden kann, welches seinerseits wie andere Salze elektrolysirt wird. Doch scheint mir die letzte Annahme unwahrscheinlicher, da bei den Amidobenzoesäuren ähnliche Verhältnisse vorliegen, welche aber zu dem entgegengesetzten Verhalten, einer starken Zunahme der Constanten bei steigender Verdünnung, führen (S. 59); die dort gebildeten Doppelverbindungen scheinen den Salzen nicht unbedingt vergleichbar.

Wie dieses Räthsel sich aber auch in Zukunft lösen mag, so lässt sich doch jetzt das wesentlichste Ergebniss der Bestimmungen, dass nämlich von den drei Isomeren Picolinsäure die schwächste ist, mit Sicherheit aussprechen, da der Unterschied gegen die anderen Säuren

weit grösser ist, als die Differenz des grössten und kleinsten der gefundenen K-Werthe. Dies steht mit den gebräuchlichen Anschauungen über die Constitution der Pyridincarbonsäuren im Einklang, da man in der Picolinsäure dem Carboxyl die α-Stellung in Bezug auf den Stickstoff zuschreibt, letzterer also seinen basischen Einfluss aus nächster Nähe geltend machen kann.

Tab. 179. Nicotinsäure, $C^5H^4N.COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ (Weidel)	μ (Skraup)	$100\,m$	$100\,k$
128	14.68	14.34	4.07	0.00135
256	20.84	20.30	5.76	0.00138
512	29.11	28.69	8.10	0.00139
1024	39.90	39.31	11.10	0.00135

$K = 0.00137$

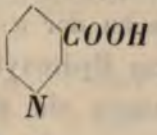
Tab. 180. Isonicotinsäure, $C^5H^4N.COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ (Weidel)	μ (Skraup)	$100\,m$	$100\,k$
128	13.01	13.07	3.66	0.00109
256	18.09	18.58	5.14	0.00109
512	25.36	26.21	7.25	0.00111
1024	35.04	35.98	9.95	0.00107

$K = 0.00109$

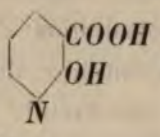
Die beiden anderen Monocarbonsäuren des Pyridins zeigen die oben erwähnte Anomalie nicht und sind beide erheblich (3 bis 4 mal) stärker, als Picolinsäure. In beiden wird indessen noch das Carboxyl vom Stickstoff erheblich beeinflusst, da die Constante noch bedeutend kleiner bleibt, als die der Benzoesäure ($K = 0.0060$) ist.

Der Nicotinsäure kommt die Formel 

, der Isonicotinsäure die Formel

zu. Es ergiebt sich sonach, dass die β-Stelle, der Metastelle am Benzol entsprechend, der Ort des geringsten Einflusses ist. Gleiches hatte sich bei den Amidobenzoesäuren er-

geben. Dagegen fehlt hier die grosse Aehnlichkeit zwischen der Ortho- und der Paraverbindung.

Eine von Weidel erhaltene und  formulirte α-Oxynicotinsäure[1]) ergab folgende Zahlen:

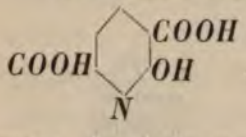
Tab. 181. α-Oxynicotinsäure (?), $C^6H^3(OH)N.COOH$.

$\mu_\infty = 357.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	9.59	2.68	0.000576
256	13.25	3.72	0.000561
512	18.31	5.13	0.000542
1024	25.13	7.05	0.000523

$K = 0.0005$

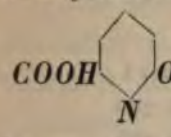
Die Säure ensteht aus der α-Oxyisocinchomeronsäure,

 , durch Abspaltung von Kohlensäure, ein Vorgang, der indessen sehr schwierig, bei 210° und unter Mitwirkung anhydridhaltiger Essigsäure erfolgt[2]). Von Weidel ist auf Grundlage der von Hantzsch hervorgehobenen Thatsache, dass die Pyridincarbonsäuren am leichtesten das α-Carboxyl abspalten, die obige Formel angenommen worden. Dieselbe steht aber in Widerspruch mit der an allen entsprechenden Oxybenzoesäuren gemachten Erfahrung, dass ein in der Orthostellung eintretendes Hydroxyl die Constante sehr bedeutend erhöht. Es bleibt hier freilich der Einwand, dass am Pyridin sich diese Verhältnisse anders gestalten können, doch werde ich weiter unten an der α-Oxycinchomeronsäure, welche jedenfalls ein Carboxyl dem Hydroxyl benachbart enthält, zeigen, dass in der That durch letzteres ein ähnlich verstärkender Einfluss stattfindet, wie bei den Derivaten der Benzoesäure. Ich komme daher zu dem Ergebniss, dass die vorliegende Säure nicht α-Oxynicotinsäure, sondern die zweite der beiden Monocarbonsäuren ist, welche sich a der

1) Ihre wässerige Lösung fluorescirt stark blauviolett.

2) Weidel, Monatsh. 7, 295. 1886.

α-Oxycinchomeronsäure bilden kann, nämlich die α-Oxypicolinsäure:

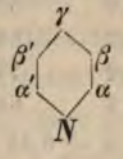


. Damit steht die Leitfähigkeit durchaus im Einklange, denn die Säure ist, entsprechend der Metastellung zwischen Carboxyl und Hydroxyl, nur wenig stärker, als die Picolinsäure. Und auch die eigenthümliche Abnahme der Constanten, welche sich dort gezeigt hatte, wiederholt sich hier wieder und giebt zu gleichen Betrachtungen und Vermuthungen Anlass. Was endlich die leichte Abspaltung der dem Stickstoff benachbarten Carboxyle betrifft, so ist ein ähnlicher Einfluss des Hydroxyls, vermöge dessen z. B. Salicylsäure ziemlich leicht in Phenol und Kohlensäure zerfällt, gleichfalls bekannt, so dass man von vornherein die Entstehung der einen wie der andern Substanz annehmen konnte.

38. Dicarbonsäuren des Pyridins. Von den Dicarbonsäuren des Pyridins habe ich folgende untersuchen können:

1. Lutidinsäure, $\alpha\beta$, von Weidel.
2. Cinchomeronsäure, $\beta\gamma$, von Weidel und Skraup.
3. Isocinchomeronsäure, $\alpha'\beta$, von Weidel.
4. Chinolinsäure, $\alpha\beta$, von Skraup.
5. Pyridindicarbonsäure $\beta\beta'$, von Skraup.

Für die Bezeichnung der Stellen, an denen das Carboxyl eingetreten ist, gilt das Schema



Tab. 182. Lutidinsäure, $C^5H^3N(COOH)^2(\alpha\gamma)$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	203.1	57.3	0.60
256	243.1	68.6	0.59
512	277.7	78.2	0.55
1024	304.7	85.8	—
2048	322.8	90.9	—

$K = 0.60$

Tab. 183. Cinchomeronsäure, $C^5H^3N(COOH)^2(\beta\gamma)$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ (WEIDEL)	μ (SKRAUP)	$100\,m$	$100\,k$
128	143.1	141.5	40.1	0.209
256	181.9	178.8	50.8	0.205
512	223.3	219.7	62.4	0.203
1024	262.5	257.2	73.2	0.196
2048	293.6	287.2	81.9	—

$K = 0.21$

Tab. 184. Isocinchomeronsäure, $C^5H^3N(COOH)^2(\alpha\beta')$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	182.9	51.5	0.427
256	222.8	62.6	0.409
512	261.4	73.7	0.406
1024	293.8	82.8	0.389
2048	314.9	88.7	—

$K = 0.43$

Tab. 185. Chinolinsäure, $C^5H^3N(COOH)^2(\alpha\beta)$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	125.5	35.4	0.303
128	162.2	45.7	0.300
256	202.9	57.2	0.299
512	241.7	68.1	0.284
1024	276.2	77.8	—
2048	300.3	84.6	—

$K = 0.30$

Tab. 186. $\beta\beta'$-Pyridindicarbonsäure, $C^5H^3N(COOH)^2(\beta\beta')$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	161.4	45.5	0.148
512	203.2	57.3	0.150
1024	245.1	69.2	0.150
2048	281.3	79.4	0.149

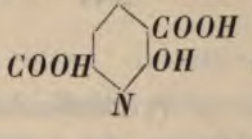
$K = 0.15$

Die Messungen an den hier verzeichneten Säuren habe ich noch sämmtlich in Riga, also mit nicht ammoniakfreiem Wasser ausgeführt, wodurch die Abnahme der K-Werthe ihre Erklärung findet. Die Constanten sind dadurch etwas unsicher, doch ist ihre Vergleichbarkeit unter einander und mit den früheren Zahlen keineswegs gefährdet.

Was zunächst an den Säuren auffällt, ist die ungemeine Höhe der Constanten. Alle übertreffen die stärkste Dicarbonsäure des Benzols, die Phtalsäure, deren Constante nur 0.121 ist. Ferner ist die Reihenfolge ganz ungewöhnlich. Die stärksten Dicarbonsäuren sind im Gegensatz zu den Monocarbonsäuren diejenigen, welche Carboxyl in der α-Stellung, also neben dem Stickstoff enthalten. Die Reihenfolge ist: Lutidinsäure $(\alpha\gamma)$, Isocinchomeronsäure $(\alpha\beta')$ und Chinolinsäure $(\alpha\beta)$. Die beiden letzteren enthalten die Carboxyle in derselben Entfernung von Stickstoff; sie sind trotzdem sehr verschieden, aber merkwürdigerweise ist die Chinolinsäure mit benachbarten Carboxylen schwächer, als Isocinchomeronsäure, deren Carboxyle in der Parastellung stehen.

Von den beiden übrigen Säuren ist die Cinchomeronsäure $(\beta\gamma)$ stärker, als die Pyridindicarbonsäure $(\beta\beta')$. Ob die Ursache davon die benachbarte Stellung der Carboxyle in der ersten Säure, oder das Vorhandensein eines γ-Carboxyls ist, will ich nicht entscheiden.

Die beobachteten Thatsachen lassen sich sonach dahin zusammenfassen, dass bei den Dicarbonsäuren des Pyridins die α-Stellung des Carboxyls die stärksten, die β-Stellung die schwächsten Säuren ergiebt; die γ-Stellung liegt in der Mitte.

Im Anschluss an die eben besprochenen Stoffe sollen noch einige ihrer Abkömmlinge besprochen werden. Eine von Weidel erhaltene Oxycinchomeronsäure von der Constitution  ergab[1]):

1) Die Lösung fluorescirt blau.

Tab. 187. Oxycinchomeronsäure, $C^5H^2(OH)N(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	264	74.4	1.69
256	296	83.4	1.64
512	320	90.2	1.62
1024	337	94.9	1.72
2048	347	97.8	—

$K = 1.67$

Die Constante der Cinchomeronsänre ist 0.21; durch den Eintritt des Hydroxyls in der Orthostelle neben einem Carboxyl ist die Dissociationsconstante auf den 8fachen Werth gewachsen. Die Zahl ist kleiner, als der entsprechende Factor 17 bei der Benzoesäure, beweist aber doch, dass auch am Pyridinkern ein Orthohydroxyl erheblich verstärkend wirkt. Es ist dies die oben (S. 114) vorausgenommene Bestätigung des dort gezogenen Schlusses, dass die aus α-Oxycinchomeronsäure durch Kohlensäureabspaltung entstehende Säure nicht Oxynicotin-, sondern α'-Oxypicolinsäure ist.

Von Hantzsch war mir eine Anzahl methylirter Di- und Tricarbonsäuren des Pyridins gegeben worden. Erstere waren sämmtlich Abkömmlinge der $\beta\beta'$-Pyridincarbonsäure.

Tab. 188. α-Methylpyridindicarbonsäure, $C^5H^2(CH^3)N(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	138.6	39.3	0.199
256	177.8	50.4	0.200
512	221.6	62.8	0.207
1024	264.4	75.0	0.220
2048	288.9	81.8	—

$K = 0.20$

Die $\beta\beta'$-Pyridindicarbonsäure hat $K = 0.15$; durch den Eintritt des Methyls an der α-Stelle ist somit die Säure etwas stärker geworden.

Eine Dimethylpyridindicarbonsäure, in welcher die beiden Methylgruppen die Stellen α und α' einnehmen, war mir von Skraup gegeben worden, der sie von Hantzsch erhalten hatte.

Tab. 189. $\alpha\alpha'$-Dimethylpyridindicarbonsäure, $C^5H(CH^3)^2N(COOH)^2$.

$\mu\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	168.5	47.9	0.344
256	209.9	59.7	0.345
512	252.9	71.9	0.359
1024	288.5	82.0	0.365
2048	306.4	87.1	—

$K = 0.34$

Das zweite, an der α'-Stelle eingetretene Methyl hat die Säure weiterhin verstärkt, und zwar in grösserem Verhältniss, als das erste Methyl es that. Der erste Factor ist 1.3, der zweite ist 1.7.

Eine zweite Dimethylpyridindicarbonsäure, welche ich von Hantzsch erhalten hatte, enthält ein Methyl in der α-, das zweite in der γ-Stellung. Sie ist stärker, als die isomere $\alpha\alpha'$-Verbindung.

Tab. 190. $\alpha\gamma$-Dimethylpyridindicarbonsäure, $C^5H(CH^3)^2N(COOH)^2$.

$\mu\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	197	56.0	0.55
256	237	67.4	0.54
512	271	77.0	0.50
1024	296	84.2	—
2048	310	88.1	—

$K = 0.55$

Das Verhältniss zur α-Methylpyridincarbonsäure ist 1 : 2.7, also viel grösser, als bei der $\alpha\alpha'$-Verbindung. Die Constante der $\beta\beta'$-Pyridindicarbonsäure ist durch diese beiden Methylgruppen auf ihren 3.6fachen Werth gebracht worden.

39. Polycarbonsäuren des Pyridins. Dieselben Beziehungen, wie die oben auseinandergesetzten, finden sich an den Tricarbonsäuren des Pyridins wieder, von denen ich gleichfalls Proben von Skraup, Hantzsch und Weidel erhalten hatte.

Tab. 191. Pyridintricarbonsäure, $C^5H^2N(COOH)^3(\alpha\beta\gamma)$.

v	μ (WEIDEL)	μ (SKRAUP)
64	237	—
128	284	289
256	333	337
512	385	387
1024	441	438
2048	498	494
4096	547	541

Bei den Tricarbonsäuren ist eine Berechnung der Constanten ausgeschlossen, wenn sie, wie im vorliegenden Falle, so gute Leiter sind.

Tab. 192. Pyridintricarbonsäure, $C^5H^2N(COOH)^3(\alpha\beta\beta')$.

v	μ (SKRAUP)	μ (HANTZSCH)
128	277	277
256	327	328
512	381	383
1024	439	440
2048	499	502
4096	556	560

Tab. 193. Pyridintricarbonsäure, $C^5H^2N(COOH)^3(\beta\gamma\beta')$.

v	μ
128	233
256	278
512	323
1024	371
2048	417
4096	466

Die $(\beta\gamma\beta')$-Säure habe ich von HANTZSCH erhalten.

Die bei den Dicarbonsäuren gefundenen Beziehungen wiederholen sich hier. Die Säuren, welche ein α-Carboxyl enthalten, sind die stärkeren, und unter ihnen ist wieder die mit einem γ-Carboxyl der mit einem β-Carboxyl überlegen. Die schwächste ist die $(\beta\gamma\beta')$-Säure; sie ist indessen immer noch stärker, als alle Dicarbonsäuren.

Von HANTZSCH habe ich endlich noch eine Tetracarbonsäure $\alpha\beta\gamma\beta'$ und die Pentacarbonsäure des Pyridins erhalten.

Tab. 194. Pyridintetracarbonsäure, $C^5HN(COOH)^4(\alpha\beta\gamma\beta')$.

v	μ
256	466
512	531
1024	590
2048	647
4096	692

Tab. 195. Pyridinpentacarbonsäure, $C^5N(COOH)^5$.

v	μ
256	610
512	685
1024	763
2048	834
4096	903

Wie zu erwarten war, lässt die Ansammlung der Carboxyle die Säuren sehr stark werden. Von dem Maximum der fünfbasischen Säuren, welches bei 1750 bis 1800 liegt, ist indessen die Pentacarbonsäure noch weit entfernt.

In Bezug auf den Einfluss vorhandener Methylgruppen lassen sich gleichfalls dieselben Beziehungen wiedererkennen, wie sie bei den Dicarbonsäuren beobachtet wurden. Die beiden nachstehenden Säuren habe ich von Hantzsch erhalten.

Tab. 196. α'-Methylpyridintricarbonsäure, $C^5H(CH^3)N(COOH)^3$.

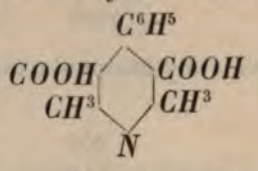
v	μ	Pyridintricarbons. $\alpha\beta\beta'$
128	285	277
256	343	328
512	405	383
1024	468	440
2048	532	502
4096	590	560

Tab. 197. γ-Methylpyridintricarbonsäure, $C^5H(CH^3)N(COOH)^3$.

v	μ
128	343
256	408
512	476
1024	538
2048	590
4096	622

Beide Säuren sind Abkömmlinge der $\alpha\beta\beta'$-Pyridintricarbonsäure. Sie erweisen sich beide stärker als diese, und zwar wirkt wiederum

das an der γ-Stelle eingetretene Methyl bedeutend stärker, als von der α-Stelle aus.

Der eigenthümliche Gegensatz, in welchem die Verhältnisse der Pyridincarbonsäuren zu den anderen untersuchten Stoffen stehen, zeigt sich weiter beim Eintritt des Phenyls. Von Hantzsch habe ich eine Phenyllutidindicarbonsäure  erhalten, welche

im Gegensatz zu allen Analogieen nicht nur weit schwächer ist, als die Lutidindicarbonsäure, sondern selbst als die $\beta\beta'$-Pyridindicarbonsäure, welche ihrerseits die schwächste aller Dicarbonsäuren ist.

Tab. 198. Phenyllutidindicarbonsäure, $C^5(CH^3)^2(C^6H^5)N(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
512	76.9	21.9	0.0120
1024	101.4	29.0	0.0116
2048	134.1	38.4	0.0117

$K = 0.012$

Die Constante der $\beta\beta'$-Dicarbonsäure ist 0.15, die der Lutidindicarbonsäure ist 0.34. Der Eintritt der negativen Phenylgruppe hat eine Verkleinerung der Constanten auf etwa ein Dreissigstel ihres Werthes hervorgebracht. Es müssen ganz ungewöhnliche Verhältnisse am Pyridinkern obwalten, welche diese unerwarteten Einflüsse zum Vorschein kommen lassen.

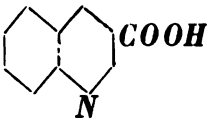
Der saure Aethylester dieser Säure, welchen ich ebenfalls von Hantzsch erhalten habe, leitet schlechter, als die Säure selbst, was zu erwarten war. Die Constante zeigt eine beträchtliche Abnahme, der Stoff ist daher wohl nicht als völlig rein anzusehen.

Tab. 199. Phenyllutidindicarbonäthylestersäure.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	27.58	7.88	0.0053
256	37.01	10.57	0.0049
512	49.15	14.05	0.0045
1024	65.98	18.86	0.0043

$K = 0.004$

40. Chinolincarbonsäuren und Verwandtes. Von Weidel dargestellte Chinaldinsäure,  , ergab:

Tab. 200. Chinaldinsäure, $C^9H^6N.COOH$.

$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	13.87	3.94	0.00126
256	19.14	5.44	0.00122
512	26.01	7.40	0.00116
1024	34.80	9.89	0.00106

$K = 0.0012$

Die Säure ist der Picolinsäure ($K = 0.0003$) zu vergleichen. Sie ist stärker, als diese, ebenso wie α-Naphtoesäure stärker ist, als Benzoesäure. Die bei der Picolinsäure beobachtete Abnahme der Constanten ist, wenn auch in viel geringerem Grade, gleichfalls zu erkennen.

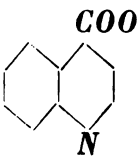
Die der Isonicotinsäure analoge Cinchoninsäure habe ich gleichfalls von Weidel erhalten.

Tab. 201. Cinchoninsäure.

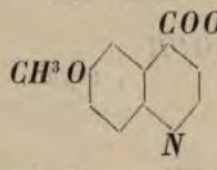
$\mu_\infty = 355$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	9.94	2.82	0.00127
128	13.89	3.95	0.00127
256	19.40	5.51	0.00125
512	27.04	7.68	0.00125
1024	37.22	10.58	0.00123

$K = 0.0013$

Cinchoninsäure,  ist stärker, als Chinaldinsäure, ebenso wie Picolinsäure stärker ist, als Isonicotinsäure. Doch ist im Falle der Pyridinmonocarbonsäuren der Unterschied ziemlich bedeutend, während er hier sehr gering ist.

Als Abkömmling der Cinchoninsäure wird die Chininsäure,



von Skraup[1]) formulirt; demselben verdanke ich auch das untersuchte Präparat.

Tab. 202. Chininsäure, $C^9H^5(OCH^3)N.COOH$.

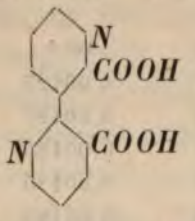
$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
256	17.05	4.86	0.00097
512	23.16	6.60	0.00091
1024	31.40	8.95	0.00086

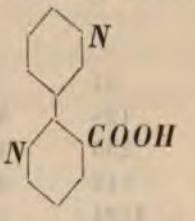
$K = 0.0009$

Die Leitfähigkeit kommt der der Cinchoninsäure ziemlich nahe, ist aber etwas geringer. Der Einfluss des im Benzolring befindlichen Oxymethyls wirkt also hier schwächend.

Von Skraup habe ich Carbonsäuren des Dipyridyls erhalten. Wie derselbe gezeigt hat[2]), giebt *m*-Phenylendiamin bei der Chinolinsynthese Phenanthrolin, welches durch Oxydation ähnlich dem Phenanthren bei der Oxydation in eine zweibasische Säure übergeht. Letztere spaltet beim Erhitzen Kohlensäure ab, und giebt eine Dipyridylmonocarbonsäure. Die Constitution beider Verbindungen ist



und



Tab. 203. Dipyridylmonocarbonsäure, $C^{10}H^7N^2.COOH$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	10.20	2.92	0.00137
128	15.40	4.40	0.00158
256	23.05	6.59	0.00182
512	33.47	9.56	0.00198
1024	46.76	13.35	0.00201

$K = 0.002$

1) Monatsh. **4**, 699. 1883.

2) Skraup u. Vortmann, Monatsh. **3**, 570. 1882.

Die Säure zeigt in auffälliger Weise eine Zunahme der Constanten, ähnlich wie sie bei den Amidobenzoesäuren beobachtet wurde; sie ist also vermuthlich durch eines der beiden Stickstoffatome, die sie enthält, zur Bildung von Doppelverbindungen befähigt. Sie lässt sich als ein Abkömmling der Nicotinsäure auffassen und erweist sich um ein Geringes stärker, als diese.

Tab. 204. Dipyridyldicarbonsäure, $C^{10}H^6N^2(COOH)^2$.

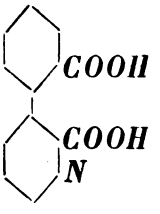
$\mu_\infty = 350.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	63.06	18.0	0.0309
256	87.12	24.9	0.0322
512	117.0	33.5	0.0330
1024	150.9	43.1	0.0319
2048	187.5	53.6	0.0303

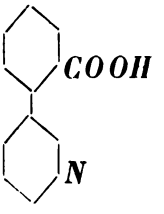
$K = 0.032$

Durch das zweite Carboxyl wird die Leitfähigkeit der Säure bedeutend erhöht, so dass sie der Diphensäure sich nähert. Indessen bleibt sie noch weit hinter den Werthen zurück, welche die Dicarbonsäuren des Pyridins, deren schwächste $K = 0.15$ hat, aufweisen.

Analog den oben behandelten Stoffen sind die Phenylpyridincarbonsäuren, welche von Skraup und Cobenzl[1]) dargestellt und von Ersterem mir mitgetheilt worden sind. Aus der β-Phenylpyridindicarbonsäure entsteht durch Kohlensäureabspaltung eine o-Pyridinbenzoesäure; die Formeln sind:



und



1) Monatsh. 4, 450 u. 466. 1883.

Tab. 205. *o*-Pyridinbenzoesäure, $C^6H^4(C^5H^4N)COOH$.

$\mu_\infty = 350$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	7.65	2.18	0.00038
256	10.93	3.12	0.00039
512	16.00	4.57	0.00043
1024	23.30	6.66	0.00046

$K = 0.0005$

Obwohl Pyridin eine viel schwächere Basis ist, als Ammoniak, so ist die *o*-Pyridinbenzoesäure deutlich schwächer, als die *o*-Amidobenzoesäure. Gleichzeitig macht sich das für diese Stoffe bezeichnende Ansteigen der Constanten geltend.

Tab. 206. Phenylpyridindicarbonsäure, $C^{11}H^7N(COOH)^2$.

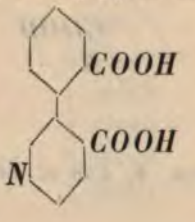
$\mu_\infty = 350$.

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	27.22	7.78	0.0103
128	38.57	11.01	0.0106
256	53.98	15.44	0.0110
512	74.46	21.30	0.0113
1024	100.9	28.85	0.0114
2048	132.4	37.85	0.0113

$K = 0.011$

In merkwürdigem Gegensatz zu der analog constituirten Dipyridyldicarbonsäure ist die Constante, trotzdem ein Pyridinrest durch Phenyl ersetzt ist, weit kleiner geworden; sie beträgt etwa ein Drittel jener. Es scheint, das dies Verhalten dieselbe Ursache hat, welche das starke Absinken der Constanten durch den Eintritt von Phenyl in der Phenyllutidindicarbonsäure (S. 214) bewirkt.

Eine der letzten Säure isomere *α*-Phenylpyridindicarbonsäure aus *α*-Naphtylamin, welche der Formel



entspricht, habe ich gleichfalls von Skraup erhalten.

Tab. 207. α-Phenylpyridindicarbonsäure, $C^{11}H^7N(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	100 m	100 k
128	40.2	11.5	0.0117
256	57.7	16.5	0.0127
512	80.8	23.1	0.0136
1024	110.3	31.5	0.0141
2048	144.0	41.2	0.0141

$K = 0.012$

Die Säure ist etwas stärker, als die isomere β-Verbindung, was wahrscheinlich mit dem Uebergang des Stickstoffs aus der Ortho- in die Metastellung zu einem Carboxyl in Beziehung steht. Die Constante der Dipyridyldicarbonsäure wird freilich bei weitem nicht erreicht.

Endlich sollen hier noch Messungen an der Papaverinsäure, welche ich von dem Erforscher des Papaverins, G. Goldschmiedt, erhalten habe, eine Stelle finden.

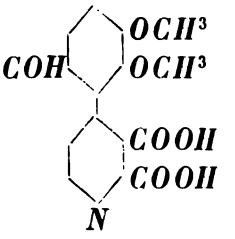
Tab. 208. Papaverinsäure, $C^{13}H^{11}O^3N(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 350.$

v	μ	100 m	100 k
256	271.5	77.6	1.05
512	305.0	87.1	1.15
1024	338.7	—	—
2048	377.5	—	—

$K = 0.9$

Die Säure ist so stark, dass die Constante wegen der Annäherung an das Maximum der einbasischen Säuren sich nur angenähert schätzen lässt. Nach den Forschungen von Goldschmiedt kommt ihr die Constitution



zu; sie ist eine durch einen Protocatechualdehydrest substituirte Chinolinsäure. Da die Constante der letzteren nur 0.30 beträgt, so ist hier statt der Schwächung, welche sonst die Pyridincarbonsäuren durch Phenyl erfahren, eine

erhebliche Verstärkung, wohl unter Mitwirkung der drei sauerstoffhaltigen Gruppen, eingetreten.

41. Mekonsäuregruppe. Die Säuren dieser Gruppe, welche sich als Carboxylderivate eines sauerstoffhaltigen Kernes auffassen lassen, zeichnen sich durch sehr hohe Werthe der Leitfähigkeit aus. Ich habe schon früher angegeben, dass Mekonsäure fast ebensogut leitet, wie Schwefelsäure. Da mir eben kein neues Präparat zur Hand ist, gebe ich die früheren Zahlen wieder.

Tab. 209*. Mekonsäure. $C^5HO^2\,OH\,(COOH)^2$.

v	μ
32	434
64	485
128	513
256	602
512	650
1024	694

Die Werthe für höhere Verdünnungen sind vermuthlich zu klein. Wie man sieht, ist bereits bei $v = 32$ das erste Stadium der Dissociation weit überschritten.

Die Komensäure habe ich nicht zu untersuchen Gelegenheit gehabt. In der Pyromekonsäure, $C^5H^3O^2(OH)$, ist kein Carboxyl mehr vorhanden, sondern nur noch ein phenolartiges Hydroxyl. Dementsprechend ist die Leitfähigkeit dieses Stoffes sehr gering.

Tab. 210. Pyromekonsäure. $C^5H^3O^2(OH)$.

$\mu_\infty = 358.$

v	μ	100 m
16	0.52	0.14 [9]
32	0.54	0.15
64	0.62	0.17

Wie man aus dem Gang der Zahlen ersieht, ist der grösste Theil der beobachteten Leitfähigkeit durch Spuren von Verunreinigungen in der untersuchten Substanz veranlasst; der reine Stoff leitet vermuthlich etwa zehnmal schlechter. Das Ergebniss entspricht der auf anderem Wege festgestellten Constitution des Stoffes und lässt weiterhin vermuthen, dass das Hydroxyl nicht in unmittelbarster Nähe der beiden Sauerstoffatome sich befindet.

Von Liebig habe ich Chelidonsäure erhalten, deren Leitfähigkeit sich wie folgt ergab:

Tab. 211. Chelidonsäure, $C^5H^2O^2(COOH)^2$.

v	μ
62.9	427
125.8	489
251.6	554
503.2	611
1006.4	651 (?)
2012.8	718

Die Säure lässt sich scharf mit Baryt und Phenolphtaleïn titriren, enthält also wahrscheinlich kein phenolisches Hydroxyl; für Mekonsäure gilt das Gegentheil. Sie ist etwas schwächer, als Mekonsäure; das Verhältniss der Verdünnungen, bei welchen die Leitfähigkeit annähernd gleich wird, ist 2 : 1. Wenn daher die Mekonsäure eine hydroxylirte Chelidonsäure ist, so kann das Hydroxyl der ersteren nicht in der Orthostellung zu einem Carboxyl stehen, sondern nimmt sehr wahrscheinlich eine Metastellung ein.

Die durch Einwirkung von Ammoniak auf Chelidonsäure entstehende Ammonchelidonsäure ist als eine Oxypyridindicarbonsäure erkannt worden.

Tab. 212. Ammonchelidonsäure, $C^5H^2N(OH)(COOH)^2$.

v	μ
170.5	367
341	412
682	457
1364	546

Die Säure übertrifft an Leitfähigkeit weit alle Pyridindicarbonsäuren; sie enthält also sicher ein Hydroxyl in der Orthostellung zu einem Carboxyl.

Als nahe verwandt mit den Stoffen der Mekonsäuregruppe wird die Dehydracetsäure und die Isodehydracetsäure betrachtet. Erstere hatte ich von Schuchardt bezogen.

$$\begin{array}{l} \quad\;\; COOH \\ \quad\;\; | \qquad\qquad\quad CH^3 \\ CH^3 - C = C - C \\ \quad\;\; | \qquad\qquad\quad \| \\ \quad\;\; O - CO - CH \end{array}$$

erkannt worden ist[1]). Die untersuchte Probe war ein Originalpräparat.

Tab. 214. Isodehydracetsäure, $C^7H^7O^2.COOH$.

$\mu_\infty = 353$.

v	μ	100 m	100 k
65.3	155.6	44.1	0.532
130.6	194.3	55.0	0.515
261.2	237.4	67.3	0.530
522.4	273.2	77.4	0.508
1044.8	305.1	86.5	0.530

$K = 0.523$

Entsprechend ihrer Constitution ist Isodehydracetsäure sehr stark; ihre Constante ist fast genau tausend Mal grösser, als die der isomeren Dehydracetsäure.

Im Anschluss an die letzte Verbindung will ich hier noch meine Messungen an einer anderen Lactonsäure, der Terebinsäure, mittheilen. Das Präparat stammte von Schuchardt.

Tab. 215. Terebinsäure, $C^6H^9O^2.COOH$.

$\mu_\infty = 352$.

v	μ	100 m	100 k
32	30.99	8.80	0.0265
64	43.00	12.20	0.0265
128	59.20	16.83	0.0265
256	80.16	22.78	0.0262
512	106.8	30.4	0.0260
1024	138.8	39.5	0.0252

$K = 0.0265$

Terebinsäure hat die Constitution $\begin{array}{l} (CH^3)^2C.CH^2.CH.COOH \\ \qquad\quad | \qquad\quad | \\ \qquad\quad O \;-\; CO \end{array}$, sie ist das Lacton einer Oxyisobutylmalonsäure. Gegenüber der Malonsäure ($K = 0.158$) zeigt sich die Constante stark verkleinert.

2) L. A. 222, 9. 1883.

42. Säuren der Kamphergruppe. Von Kachler, dem die Chemie der Oxydationsproducte des Kamphers so viel verdankt, habe ich eine Anzahl derselben erhalten, deren Messungen nachstehend verzeichnet sind.

Tab. 216. Kamphersäure, $C^8H^{14}(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	13.02	3.71	0.00224
128	18.21	5.19	0.00222
256	25.60	7.30	0.00225
512	35.81	10.20	0.00226
1024	49.27	14.05	0.00224
2048	67.32	19.25	0.00229

$K = 0.00225$

Kamphersäure ist ungemein schwach; die Constante ist noch kleiner, als die der Sebacylsäure. Daraus geht hervor, dass die beiden Carboxyle derselben sehr weit von einander entfernt sein müssen. Nimmt man an, dass der Kamphersäure ein Aethyl-Hexahydrobenzol zu Grunde liege, so wäre für die beiden Carboxyle die Parastellung zunächst anzunehmen. Dagegen spricht indessen die Fähigkeit der Anhydridbildung. Es scheint deshalb wahrscheinlicher, dass eines der Carboxyle sich in einer Seitenkette befindet. Jedenfalls scheint eine Formel ausgeschlossen, nach welcher die beiden Carboxyle in der Orthostellung am Hexahydrobenzol angenommen werden.

Durch weitere Oxydation entsteht aus der Kamphersäure die Camphoronsäure, $C^9H^{14}O^6$. Sie wird gewöhnlich als eine dreibasische Säure aufgefasst, doch ist diese Annahme bestimmt falsch. Beim Versuch, den Gehalt einer Lösung der Säure mit Baryt und Phenolphtaleïn zu titriren, ergab sich, dass kein scharfer Uebergang eintrat, woraus schon mit Sicherheit hervorgeht, dass es sich um keine Säure mit drei Carboxylen handeln kann, da diese ausnahmslos sich gut titriren lassen. Es ist somit wenigstens eines der beiden neu eingetretenen Sauerstoffatome als phenolisches Hydroxyl vorhanden. Das zweite ist möglicherweise als Carbonylsauerstoff zugegen, was durch Einwirkung von Hydroxylamin leicht festgestellt werden könnte.

Tab. 217. Camphoronsäure, $C^7H^{12}O^2(COOH)^2$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
32	25.34	7.20	0.0174
64	35.20	10.00	0.0174
128	48.87	13.90	0.0175
256	67.08	19.05	0.0175
512	91.00	25.85	0.0176
1024	121.3	34.40	0.0176
2048	158.0	45.00	0.0178

$K = 0.0175$

Gegenüber der Kamphersäure ist die Constante auf den achtfachen Werth gestiegen. Die Wirkung der beiden Sauerstoffatome ist nicht erheblich, und ihr Eintritt hat somit jedenfalls nicht in unmittelbarster Nähe beider Carboxyle stattgefunden.

Durch weitere Oxydation mit Brom hat KACHLER aus der Camphoronsäure zwei Oxycamphoronsäuren erhalten, die er durch die Bezeichnung mit α und β unterscheidet.

Tab. 218. α-Oxycamphoronsäure, $C^9H^{14}O^7$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	127.6	36.3	0.323
128	163.9	46.6	0.318
256	204.7	58.2	0.317
512	246.7	70.2	0.323
1024	286.2	81.4	0.348
2048	320.0	90.9	0.443

$K = 0.320$

Der Eintritt des weiteren Sauerstoffatoms hat eine sehr erhebliche Steigerung der Constanten hervorgebracht; sie ist der Camphoronsäure gegenüber auf den 17fachen Werth gestiegen. Es ist dies auch das Verhältniss zwischen Benzoe- und Salicylsäure; man hat daher Grund zur Annahme, dass die vorliegende Aenderung von ähnlicher Art sei. Jedenfalls ist sie weit grösser, als sie beim Eintritt des Hydroxyls an der α-Stelle in geraden Ketten zu sein pflegt.

Tab. 219. β-Oxycamphoronsäure, $C^9H^{14}O^7$.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	166.4	47.3	0.66
128	206.2	58.6	0.65
256	246.1	70.0	0.64
512	283.4	80.6	0.65
1024	316.8	90.0	0.79
2048	344.2	97.8	—

$K = 0.65$

Die β-Oxycamphoronsäure hat eine doppelt so grosse Constante, als die isomere α-Verbindung. Die beiden Stoffe sind also jedenfalls nicht in dem Sinne isomer, wie z. B. α- und β-Oxypropionsäure. Vielmehr ist auch für die β-Verbindung der Eintritt des Hydroxyls in eine Stellung, die der Orthostellung am Benzol analog ist, anzunehmen. Ob im übrigen hier gewöhnliche Isomerie, oder vielleicht eine »räumliche« vorliegt, lässt sich auf Grund des vorliegenden Materials wohl noch nicht entscheiden.

Die durch folgeweise Einwirkung von Natrium und Kohlensäure auf Kampher entstehende Kampherkohlensäure ergab:

Tab. 220. Kampherkohlensäure, $C^{10}H^{15}O.COOH$.

$\mu_\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	35.00	10.0	0.0174
128	48.65	13.9	0.0175
256	66.83	19.0	0.0174
512	90.25	26.0	0.0176
1024	119.6	34.1	0.0173

$K = 0.0174$

Für die Constitution dieser Säure ist von W. Roser[1]) die Formel $C^9H^{15}CO.COOH$ in Vorschlag gebracht und begründet worden. Die Constante erscheint auffallend klein gegenüber der der Glyoxalsäure, $HCO.COOH$ ($K = 0.0474$), da alsdann der Eintritt der Gruppe C^9H^{15} für Wasserstoff eine Verminderung auf beinahe ein Drittel bewirken müsste, während in der Essigsäure ein ähnlicher

1) Ber. **18**, 3114. 1885.

Ersatz viel geringere Wirkung ausübt. Indessen ist der Unterschied nicht gross genug, um mit Bestimmtheit die Formel in Frage zu stellen.

Tab. 221. Campholsäure, $C^{10}H^{18}O^2$.

$\mu\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
1024	23.5	6.64	0.00046
2048	30.8	8.74	0.00041

$K = 0.00044$

Da die schwächsten Monocarbonsäuren eine Constante von 0.0014 haben, so scheint es mir unwahrscheinlich, dass in der sogenannten Campholsäure, deren Constante mehr als dreimal kleiner ist, ein Carboxyl vorhanden sei. Viel eher ist anzunehmen, dass an dasselbe Kohlenstoffatom ein Hydroxyl und ein Carbonyl gebunden sei, und dadurch der saure Charakter der Verbindung hervorgerufen werde.

Von Dr. Beckmann erhielt ich eine Probe Oxymenthylsäure[1]), dieselbe ergab:

Tab. 222. Oxymenthylsäure, $C^{10}H^{18}O^3$.

$\mu\infty = 351.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
42.7	10.48	2.99	0.00216
85.4	14.55	4.15	0.00207
170.8	20.35	5.80	0.00209
341.6	28.47	8.12	0.00210
683.2	39.66	11.30	0.00211
1366.4	54.92	15.65	0.00212

$K = 0.00210$

Die Constante der Säure ist sehr klein, sie übertrifft nur wenig die der Essigsäure. Somit kann sich das Sauerstoffatom der Oxymenthylsäure nicht in der Nähe ihres Carboxyls befinden.

Die Gesammtheit der vorstehenden Ergebnisse ladet sehr zu Speculationen über die Constitution des Kamphers und seiner Derivate ein. Indessen verzichte ich gern darauf, selbst solche anzu-

1) Mehrländer, Inauguraldiss. Lpz. 1887.

stellen und begnüge mich, den Forschern, welche dies Problem bearbeiten, die mitgetheilten Anhaltspunkte gegeben zu haben.

43. Aromatische Sulfonsäuren. Die Sulfonsäuren der Kohlenwasserstoffe sind sämmtlich so stark, dass man ihre Dissociationsconstante nicht mehr bestimmen kann; bei mässigen Verdünnungen bereits sind über 90 Procent der Säuren in die Jonen gespalten. In das Gebiet der Messbarkeit gelangen diese Säuren aber durch die Aufnahme einer Amidogruppe, welche den sauren Charakter so weit herabdrückt, dass selbst ein oder zwei eintretende Bromatome die ursprüngliche Stärke nicht wieder vollständig herstellen.

Ich habe eine ziemlich grosse Anzahl hierhergehöriger Stoffe untersucht, von denen ich einen Theil selbst dargestellt habe. Die meisten Präparate verdanke ich indessen der Güte Limpricht's, der sich um die Untersuchung der hierhergehörigen Stoffe mehr als jeder andere Forscher verdient gemacht hat.

Ich gebe zunächst die Zahlen für die drei Amidobenzolsulfonsäuren; die Orthoverbindung habe ich von Limpricht erhalten, die beiden anderen nach bekannten Methoden selbst dargestellt.

Tab. 223. *o*-Amidobenzolsulfonsäure, $C^6H^4(NH^2)SO^3H$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	130.4	36.6	0.335
128	167.8	47.1	0.328
256	208.8	58.5	0.322
512	249.8	69.8	0.315
1024	286.9	80.0	0.313

$K = 0.330$

Tab. 224. *m*-Amidobenzolsulfonsäure, $C^6H^4(NH^2)SO^3H$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	36.5	10.25	0.0183
128	50.7	14.26	0.0185
256	70.0	19.70	0.0189
512	94.4	26.55	0.0188
1024	123.5	34.70	0.0182

$K = 0.0185$

Tab. 225. *p*-Amidobenzolsulfonsäure. $C^6H^4.NH^2.SO^3H$.

$\mu_\infty = 356.$

v	μ	100 m	100 k
32	45.5	12.79	0.0586
64	62.4	17.52	0.0580
128	84.8	23.80	0.0580
256	113.5	31.8	0.0580
512	148.2	41.6	0.0578
1024	188.6	53.0	0.0584

$K = 0.0581$

Die Ergebnisse der vorstehenden Messungen sind in hohem Grade auffällig. Während sonst ausnahmslos die Orthostelle die des grössten Einflusses ist, erweist sich dieselbe im vorliegenden Falle als die des geringsten: die Benzolsulfonsäure wird durch ein an dieser Stelle eintretendes Amid am wenigsten geschwächt. Die grösste Schwächung erfolgt von der Metastelle aus, die Parastelle liegt in dieser Beziehung zwischen beiden. Es ist natürlich, dass ich solchen Thatsachen gegenüber zuerst an eine Verwechselung des Präparats dachte, doch ergab eine Aequivalentgewichtsbestimmung eine vollkommen richtige Zahl. Auch dürfte wohl ein Fehler in der Constitutionsbestimmung ausgeschlossen sein, so dass die unerwartete Thatsache wohl nur in der besonderen Natur des Schwefelsäurerestes, oder wohl wesentlich des Schwefels ihren Grund haben wird. An den Verbindungen dieses Elementes sind ohnedies schon bei früherer Gelegenheit einzelne ungewöhnliche Erscheinungen bemerkt worden.

Von Abkömmlingen dieser drei Stoffe erwähne ich zunächst eine benachbarte Diamidobenzolsulfonsäure $SO^3H : NH^2 : NH^2 = 1 : 2 : 3$. Ich habe sie von Limpricht erhalten, dessen Schüler Sachse[1] sie dargestellt hat.

Tab. 226. Diamidobenzolsulfonsäure 1 : 2 : 3.

$\mu_\infty = 352.$

v	μ	100 m	100 k
43.7	14.77	4.20	0.00422
87.4	21.58	6.13	0.00458
174.8	30.82	8.76	0.00482
349.6	43.51	12.36	0.00498
699	59.80	17.00	0.00498
1398	81.25	23.09	0.00496

$K = 0.0050$

[1] L. A. 188, 155. 1877.

Geht man von der *o*-Amidosäure aus, so hat der Eintritt des zweiten Amids an der *m*-Stelle die Constante 66mal kleiner gemacht. Nimmt man an, dass das Meta-Amid in demselben Verhältniss die Constante der Benzolsulfonsäure vermindert habe, so würde für letztere der Werth $K = 1.22$ folgen. Doch ist diese Zahl unzweifelhaft zu klein. Im Uebrigen ist zu bemerken, dass die Diamidobenzolsulfonsäure ebenso wie die Amidobenzoesäuren eine bei grösserer Concentration anwachsende Constante aufweist, die indessen bei 350 l schon einen weiterhin unveränderlichen Werth annimmt.

Eine Bromamidobenzolsulfonsäure von der Constitution $SO^3H : NH^2 : Br = 1 : 2 : 5$ ergab:

Tab. 227. Bromamidobenzolsulfonsäure 1 : 2 : 5.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
219	294	83.1	1.75
438	298	89.6	1.65
876	313	94.1	1.61
1652	322	97.0	1.68

$K = 1.67$

Die Substanz war von Thomas[1]) dargestellt und mir von Limpricht übergeben worden. Da die Constante der *o*-Amidosäure 0.330 ist, so bewirkt das an der Metastelle eintretende Brom eine Vergrösserung auf das 5fache. Bei der Benzoesäure beträgt der Factor nur 2.3.

Ein zweites, an der Stelle 4 eintretendes Bromatom bedingt folgende Werthe:

Tab. 228. Dibromamidobenzolsulfonsäure 1 : 2 : 4 : 5.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
278	338	95.8	7.9
556	346	97.8	7.8
1112	351	99.6	—

$K = 7.9$

Es hat eine weitere Vergrösserung der Constanten um den 4.7fachen Werth stattgefunden. Natürlich ist bei einer so bedeu-

1) L. A. **186**, 126. 1877.

tenden Annäherung der Leitfähigkeit an das Maximum die Bestimmung von K schon sehr unsicher und die gute Uebereinstimmung der beiden Zahlen muss als Zufall angesehen werden.

Eine isomere Dibromamidobenzolsulfonsäure von der Constitution $SO^3H : NH^2 : Br : Br = 1 : 2 : 3 : 5$, die ich gleichfalls von Limpricht erhalten hatte, ergab:

Tab. 229. Dibromamidobenzolsulfonsäure 1 : 2 : 3 : 5.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
109.8	338	95.5	18
219.6	343	96.8	13
439.2	346	97.5	9
878.4	348	98.5	—

Man sieht an den für $100\,k$ erhaltenen Werthen die grosse Unsicherheit, welche der Constantenbestimmung so starker Säuren innewohnt, denn die vorhandenen Schwankungen von 2 : 1 im Werthe von K würden durch weniger als ein Procent Aenderung der Leitfähigkeitswerthe aufgehoben werden können. Hierzu kommt in solchen Fällen noch die principielle Unsicherheit über den Maximalwerth, bei welchem gleichfalls Aenderungen von einer oder zwei Einheiten sehr starke Verschiebungen der Constanten bedingen.

Ein drittes Bromatom, welches in die Molekel eingeführt wird, lässt allerdings seinen steigernden Einfluss noch erkennen, die Möglichkeit einer Constantenberechnung aber ist ausgeschlossen. Die untersuchte, gleichfalls von Limpricht erhaltene Säure hatte die Constitution $SO^3H : NH^2 : Br : Br : Br = 1 : 2 : 3 : 4 : 5$.

Tab. 230. Tribromamidobenzolsulfonsäure 1 : 2 : 3 : 4 : 5.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ
194.5	343
389	347
778	351
1556	354

Viel schwächer, als die vorstehend besprochenen Stoffe, sind naturgemäss die Abkömmlinge der anderen Amidosulfonsäuren, welche ihrerseits weit kleinere Constanten haben. Ein Abkömmling der

Metasäure von der Constitution $SO^3H : NH^2 : Br = 1 : 3 : 4$, die ich gleichfalls durch Limpricht erhielt, ergab:

Tab. 231. Bromamidobenzolsulfonsäure 1 : 3 : 4.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
73.5	224.4	63.4	1.49
147	251.8	71.2	1.20
294	276.5	78.2	0.95
588	296.3	83.8	0.73
1176	312.6	88.7	0.59

Die stark abnehmenden Werthe der Constanten zeigen, dass die untersuchte Substanz ein Gemenge ist.

Eine andere Säure von der Constitution $SO^3H : NH^2 : Br = 1 : 3 : 6$ ergab dagegen recht gute Constanten.

Tab. 232. Bromamidobenzolsulfonsäure 1 : 3 : 6.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	70.0	19.75	0.075
128	92.3	26.25	0.073
256	122.5	34.65	0.072
512	157.4	44.50	0.070
1024	197.5	55.80	0.069

$K = 0.072$

Die Constante der Metaamidosäure ist 0.0185, der durch das Brom an der Orthostelle bedingte Factor beträgt nur 3.9 und ist daher kleiner, als der von Brom in der Metastelle bedingte, welcher 5 beträgt. Dieser auffallende Umstand scheint mit der ungewöhnlich kleinen Wirkung des Amids an der Orthostelle in Beziehung zu stehen.

Eine von Limpricht erhaltene Dibromamidobenzolsulfonsäure von der Constitution $SO^3H : NH^2 : Br : Br = 1 : 3 : 4 : 6$, welche also noch ein Bromatom in der Parastelle mehr besitzt, als die vorbesprochene Substanz, ergab:

Tab. 233. Dibromamidobenzolsulfonsäure 1 : 3 : 4 : 6.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
71.9	262	74.0	2.9
143.8	289	81.8	2.6
287.6	313	88.4	2.3
575.2	329	92.9	2.1
1150.4	340	96.0	2.0

$K = 2.5$

Die Constante nimmt um etwa 30 Procent ab, die Säure befindet sich also noch nicht völlig in dem zur elektrischen Untersuchung geeigneten Zustande. Der Mittelwerth der Constanten, 2.5, ist 35 mal grösser, als der der *o*-Brom-*m*-Amidobenzolsulfonsäure. Eine derartig starke Wirkung des Broms von der Parastelle aus kann ich nicht für wahrscheinlich halten, und mir scheint daher die Constitutionsbestimmung entweder dieser, oder der in Tab. 232 verzeichneten Säure zweifelhaft.

Einige Tribromamidobenzolsulfonsäuren von der Constitution $SO^3H : NH^2 : Br : Br : Br = 1 : 3 : 2 : 4 : 5$, $1 : 3 : 2 : 4 : 6$ und $1 : 2 : 3 : 4 : 5$, die ich gleichfalls von Limpricht erhielt, gestatten wegen allzuweit vorgeschrittener Dissociation keine Berechnung der Constanten.

Tab. 234. Tribromamidobenzolsulfonsäure 1 : 3 : 2 : 4 : 5.

v	μ
111.5	338
223	343
446	346
892	349

Tab. 235. Tribromamidobenzolsulfonsäure 1 : 3 : 2 : 4 : 6.

v	μ
111	340
222	343
444	346
888	349

Tab. 236. Tribromamidobenzolsulfonsäure 1 : 2 : 3 : 4 : 5.

v	μ
194.5	343
389	347
778	351
1556	354

Die gefundenen Leitfähigkeiten weichen von einander kaum ab und bewegen sich ganz in der Nähe des Maximums.

44. Toluidin- und Xylidinsulfonsäuren. Von Friedländer habe ich eine Sulfonsäure des Orthotoluidins, aus Nitrotoluolsulfonsäure gewonnen, erhalten, welche die Constitution $SO^3H : NH^2 : CH^3 = 1 : 3 : 4$ hatte.

Tab. 237. Toluidinsulfonsäure 1 : 3 : 4.

$\mu_\infty = 355.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	42.3	11.56	0.0236
128	56.8	16.01	0.0238
256	77.2	21.75	0.0235
512	104.6	29.07	0.0233
1024	137.5	38.43	0.0235

$K = 0.0236$

Die Metaamidobenzolsulfonsäure hat die Constante 0.0185; das in Parastellung zum Schwefelsäurerest stehende Methyl vergrössert somit den Werth von K im Verhältniss 1 : 1.28.

Eine zweite, von Friedländer erhaltene Substanz war eine Xylidinsulfonsäure von der Constitution $SO^3 : NH^2 : CH^3 : CH^3 = 1 : 4 : 2 : 5$, also ein Abkömmling der Sulfanilsäure.

Tab. 238. Xylidinsulfonsäure 1 : 4 : 2 : 5.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	55.4	15.49	0.0443
128	73.9	20.92	0.0433
256	101.4	28.54	0.0446
512	131.7	37.02	0.0426
1024	170.1	47.85	0.0429

$K = 0.0440$

Sulfanilsäure hat $K = 0.0581$; die beiden Methylgruppen zusammen bedingen somit eine Schwächung im Verhältniss 1 : 1.3.

Durch Erhitzen von Orthotoluidin mit Schwefelsäure in äquimolekularen Verhältnissen erhielt ich eine Säure, welche folgende Zahlen gab:

Tab. 239. Orthotoluidinsulfonsäure.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
16	36.7	10.34	0.0746
32	50.7	14.31	0.0747
64	69.9	19.74	0.0758
128	93.9	26.53	0.0748
256	125.1	35.4	0.0757
512	161.6	45.6	0.0746
1024	203.0	57.3	0.0751

$K = 0.0750$

Da beim Sulfuriren von aromatischen Amidokörpern der Schwefelsäurerest nur in die Ortho- oder Parastellung zu gehen pflegt, so ist für die Säure die Constitution $SO^3H : NH^2 : CH^3 = 1 : 2 : 3$ oder $1 : 4 : 5$ möglich. Die Constante 0.0750 kommt der der Sulfanilsäure, 0.0581 nahe, und für die Wirkung des in der Metastelle befindlichen Methyls wäre wie für die des Paramethyls eine 1.3 malige Verstärkung anzunehmen. Die Orthoamidobenzolsulfonsäure hat die Constante 0.330, welche 4.4 mal grösser ist, als die der vorliegenden Säure; diese als ein Methylderivat jener zu betrachten, scheint nicht angängig zu sein.

Aus Paratoluidin entsteht beim Sulfuriren mit der äquimolekularen Schwefelsäuremenge eine Säure, deren Leitfähigkeit sich wie folgt ergab:

Tab. 240. Paratoluidinsulfonsäure.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
64	71.4	20.16	0.0795
128	95.5	26.95	0.0777
256	120.6	35.77	0.0779
512	163.1	46.06	0.0768
1024	203.9	57.52	0.0761

$K = 0.0777$

Dies Ergebniss ist mir ein Räthsel, das ich nicht zu lösen vermag. Nach allen Analogieen kann beim directen Sulfuriren aus *p*-Toluidin nur die Säure $SO^3H : NH^2 : CH^3 = 1 : 2 : 5$, d. h. ein Abkömmling der *o*-Amidobenzolsulfonsäure mit einer Constante von etwa 0.35 entstehen.

Aus *m*-Toluidin erhielt ich endlich gleichfalls eine einheitliche, ziemlich schwerlösliche Säure, der nach den Analogieen die Constitution $SO^3H : NH^2 : CH^3 = 1 : 4 : 2$ zukommt.

Tab. 241. *m*-Toluidinsulfonsäure.

$\mu_\infty = 354.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
128	68.3	19.30	0.0361
256	91.8	25.95	0.0355
512	122.1	34.52	0.0356
1024	158.4	44.75	0.0354

$K = 0.0357$

Die Säure charakterisirt sich, der Voraussetzung entsprechend, als ein Abkömmling der Sulfanilsäure; ihre Constante ist um das 1.6fache kleiner, als die der letzteren. Methyl in der Orthostellung scheint somit schwächend zu wirken. Dies stimmt mit den Messungen an der Xylidinsulfonsäure überein, welche ein Methyl in der Ortho- und eines in der Metastellung enthält. Für letzteres wurde eine Verstärkung auf das 1.3fache gefunden, während beide Methyle eine Schwächung in gleichem Verhältniss hervorgebracht haben; das Orthomethyl muss also im Verhältniss $1.3 \times 1.3 = 1.69$ schwächend wirken, was mit dem oben erhaltenen Ergebniss auf das Beste übereinkommt.

Eine durch Limpricht erhaltene, von Schwanert dargestellte Diamido-*p*-Sulfotoluolsäure[1]) ergab:

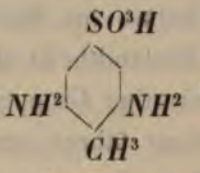
1) L. A. 186, 360. 1877.

Tab. 242. Diamido-*p*-Sulfotoluolsäure.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
60.35	17.74	5.02	0.00440
120.7	25.09	7.11	0.00451
241.4	35.30	10.00	0.00461
482.8	49.16	13.92	0.00467
965.6	67.34	19.15	0.00470

$K = 0.0047$

Die Säure hat wahrscheinlich die Constitution  und

enthält beide Amidgruppen in der *m*-Stellung zum Schwefelsäurerest. Die Toluidinsulfonsäure $SO^3H : NH^2 : CH^3 = 1 : 3 : 4$ (Tab. 237) hat die Constante 0.0236, das zweite *m*-Amid hat den Werth daher nur auf den fünften Theil herabgedrückt.

Das Bromsubstitutionsproduct der vorstehend beschriebenen Säure, das ich von gleicher Seite erhalten hatte, ergab:

Tab. 243. Bromdiamido-*p*-Sulfotoluolsäure.

$\mu_\infty = 353.$

v	μ	$100\,m$	$100\,k$
135.5	50.36	14.26	0.0174
271	68.29	19.36	0.0172
542	92.58	26.21	0.0172
1084	122.1	34.60	0.0169

$K = 0.0172$

Die Constante ist auf den vierfachen Werth gestiegen. Das Brom kann, wenn die Constitution oben richtig bestimmt war, nur eine Orthostelle zum Schwefelsäurerest einnehmen. Bei dem *m*-Amidobenzolsulfosäurerest war für den Einfluss eines Bromatoms an der *o*-Stelle (Tab. 232) der Factor 3.9, in völliger Uebereinstimmung mit dem eben erhaltenen Werth, gefunden worden.

45. Allgemeine Betrachtungen. Man kann, wie ich schon früher ausgeführt habe, die numerisch ausdrückbaren Eigenschaften der chemischen Verbindungen in drei Gruppen theilen: die additiven, die cumulativen und die constitutiven. Erstere sind von der Be-

schaffenheit, dass ihr Werth bei chemischen Verbindungen als die Summe der entsprechenden Werthe der Bestandtheile sich darstellt; sie haben zur Atomtheorie geführt, d. h. zu der Annahme, dass die Bestandtheile in den Verbindungen noch als solche fortexistiren.

Die cumulativen Eigenschaften haben die Eigenthümlichkeit, dass der Zahlenwerth derselben, unabhängig von der Zahl und Beschaffenheit der Bestandtheile, für gewisse Complexe gleich gross ist. Sie haben zur Molekulartheorie geführt, d. h. zu der Annahme, dass die Bestandtheile der chemischen Verbindungen zunächst bestimmte gleichartige Gruppen oder Systeme bilden, welche eine selbständige Existenz führen, und aus denen sich die sichtbaren und wägbaren Stoffe aufbauen.

Endlich giebt es aber eine dritte Gruppe von Eigenschaften, welche weder additiv noch cumulativ sind, da sie auch bei gleich zusammengesetzten Stoffen verschiedene Werthe annehmen können. Sie haben zu der Annahme geführt, dass die Eigenschaften der Stoffe ausser von der Natur und Anzahl der zusammensetzenden Atome noch von einem anderen Umstande beeinflusst werden, als welchen man seit Berzelius' Vorgange die verschiedene Anordnung der Atome innerhalb der Molekel, die Constitution, ansieht.

Von allen bisher bekannten constitutiven Eigenschaften, wie Siedepunkt, Schmelzpunkt, Farbe, Krystallform u. s. w. gestattet keine einen einigermassen sicheren Einblick in die bestimmende Ursache, die chemische Constitution. Man kann, wenn letztere auf rein chemischem Wege mehr oder weniger annähernd ermittelt ist, allerdings empirische Beziehungen aufstellen; dieselben bleiben aber an der Oberfläche und ermangeln daher der Allgemeinheit. Die Ursache davon ist die mangelnde Ausbildung unserer Vorstellungen über die Art und den Betrag des Einflusses, welchen die Anordnung der Elementaratome in der Molekel auf die erwähnten Eigenschaften ausübt.

Ich glaube mich nicht zu täuschen, wenn ich behaupte, dass die Affinitätsconstanten, welche eine Eigenschaft von eminent constitutiver Beschaffenheit darstellen, allen anderen, die oben genannt wurden, in Bezug auf ihre theoretische Verwerthbarkeit weit überlegen sind. Denn aus ihnen lassen sich bereits jetzt, wo sie zum

ersten Male ermittelt und verglichen worden sind, weitgehende und allgemeine Schlüsse ziehen. Das Ergebniss, dass ein und dasselbe Atom je nach der »Stelle«, welche es in der Molekel einnimmt, ganz verschiedene Wirkungen ausübt, welche um so grösser sind, je unmittelbarer die Beziehung des Atoms zum Säurewasserstoffatom ist, führt zu dem allgemeinen Schluss, dass diese Wirkungen Functionen der räumlichen Entfernung der fraglichen Atome sind. Damit ist aber zum ersten Male ein Mittel gewonnen, räumliche Messungen am molekularen Gebäude vorzunehmen. Ich bin keinen Augenblick im Zweifel, dass es langer und mühsamer Arbeiten bedarf, bevor solche Messungen zu Ergebnissen führen werden, welche ein allseitig zureichendes Bild von der Gestalt der Molekeln geben werden. Aber dass dies Ziel erreichbar ist, scheint mir schon jetzt unzweifelhaft zu sein.

Wie schon eingangs erwähnt wurde, stellt sich die Affinitätsconstante k der Säuren im Allgemeinen als ein Product dar, dessen Factoren durch die Natur und Stellung der die Säure zusammensetzenden Elementaratome ist. Dies geht daraus hervor, dass bei analogen Aenderungen an analogen Stoffen die Constanten sich in gleichem Verhältniss ändern, d. h. dass infolge derselben die Constanten der Ausgangsstoffe mit einem gleichen Factor multiplicirt werden. Diese Factoren sind aber nie vollkommen gleich, weil eben nie zwei analoge Aenderungen vollkommen gleich sind. Führen wir z. B. Essigsäure in Glycolsäure und Propionsäure in Milchsäure über, so sind die beiden Aenderungen zwar recht ähnlich; im ersten Falle aber kommt das Hydroxyl neben zwei Wasserstoffatome, im zweiten Falle neben ein Wasserstoffatom und ein Methyl zu stehen; es wird in beiden Fällen verschiedenen Einfluss erfahren und demgemäss auch nothwendig verschieden auf das Carboxyl wirken. Das Gleiche gilt in allen entsprechenden Fällen. Der angenäherte Charakter der allgemeinen Beziehung erweist sich sonach als nothwendig; die Abweichungen vom Schema sind durch die Natur der Sache bedingt und bilden ihrerseits ein Hilfsmittel, um ihre Ursache, die erwähnten secundären Einwirkungen, an das Licht zu ziehen. Was man allgemein über constitutive Eigenschaften sagen kann, dass sie niemals vollständig sich durch ein Schema darstellen lassen können, weil das ihrer Natur widerspricht, gilt ganz besonders für die Affinitäts-

constanten. Die ganze Mannigfaltigkeit der Natur macht sich in ihnen geltend und erzeugt im Rahmen der grossen und allgemeinen Gesetzmässigkeiten die feinste Individualisirung.

Die Form der Dissociationsconstanten als Product von Factoren, $k = k_1 . k_2 . k_3 \ldots\ldots$, hat eine tiefere Bedeutung, die man erkennt, wenn man auf die Dissociationsformel selbst zurückgeht. Dieselbe wird aus der mechanischen Wärmetheorie in folgender Gestalt erhalten[1]):

$$l \frac{p}{p_1 p_2} = \frac{\varrho}{R\tau} + C,$$

wo p_1 und p_2 die Partialdrucke der Zersetzungsproducte, p den des unzersetzten Stoffes, ϱ die Dissociationswärme, τ die absolute Temperatur, R die Gasconstante und C ein Werth ist, der nur eine Function der Temperatur sein, also bei constanter Temperatur als eine Constante betrachtet werden kann.

Im vorliegenden Falle ist $p_1 = p_2$, und da p_1 und p proportional $\frac{m}{v}$ und $\frac{1-m}{v}$ zu setzen sind[2]), so folgt $\frac{p}{{p_1}^2} = \frac{(1-m)v}{m^2}$ und somit

$$l \frac{(1-m)v}{m^2} = \frac{\varrho}{R\tau} + C$$

oder

$$l \frac{m^2}{(1-m)v} = -\frac{\varrho}{R\tau} + C.$$

Nun ist die Affinitätsconstante $k = \frac{m^2}{(1-m)v}$; da andererseits allgemein $k = k_1 . k_2 . k_3 \ldots\ldots$ ist, so folgt

$$lk_1 + lk_2 + lk_3 + \ldots\ldots = -\frac{\varrho}{R\tau} + C.$$

Die Constante C hängt nur von den gewählten Einheiten und Ausgangspunkten der Zählung ab; erscheint daher in der Gleichung links eine Summe von Gliedern lk, so muss jedem derselben auf der rechten Seite ein Summand von der Form $-\frac{\varrho_n}{R\tau}$ entsprechen, so dass $\frac{\varrho}{R\tau}$ gleichfalls sich in eine Summe entsprechender Glieder

1) Ostwald, Allgemeine Chemie **2**, 723.

2) Ztschr. für physikal. Chemie **2**, 276. 1888.

$-\frac{1}{R\tau}(\varrho_1 + \varrho_2 + \varrho_3 + \ldots)$ auflöst, von denen je ein R_n und ϱ_n einander correspondiren.

Das heisst: Der natürliche Logarithmus der Dissociations- oder Affinitätsconstante ist (bis auf eine Constante) proportional der Dissociationswärme der Säure beim Zerfall in ihre Jonen. Da derselbe sich erfahrungsgemäss aus einer Reihe von Summanden zusammensetzt, welche von der Natur und Lage der constituirenden Atome abhängen, so ist auch die elektrolytische Dissociationswärme die Summe einer entsprechenden Anzahl von Gliedern, deren jedes von der Natur und Lage jedes einzelnen Atoms bestimmt wird.

Nun sind in diesem Falle die Dissociationswärmen das exacte Maass der Arbeitsgrössen, welche bei der Abtrennung des Säurewasserstoffatoms vom negativen Jon geleistet werden, da äussere Arbeit nicht in Frage kommt und der Zustand der betheiligten Stoffe dem der idealen Gase sehr nahe ist. Somit misst die Dissociationswärme das Potential oder die Kräftefunction des Atomcomplexes an der entsprechenden Stelle und wir sehen, dass diese Kräftefunction die Summe derjenigen Werthe ist, welche die einzelnen Atome je nach ihrer Natur und Lage zum Gesammtwerth beitragen. Und zwar bedingen solche Elemente, welche wie Chlor, Schwefel u. s. w. die Constante k erhöhen, eine Verminderung der Dissociationswärme, da lk und ϱ verschiedene Zeichen haben. Amid dagegen, welches die Constante vermindert, erhöht die Dissociationswärme, d. h. vergrössert die zur Abtrennung des Säurewasserstoffs erforderliche Arbeit.

Durch diese Betrachtungen sehen wir die eminent constitutive Eigenschaft der Affinitätsgrössen wiederum auf die additive Form zurückgeführt. Es geschah dies dadurch, dass der Einfluss der Constitution oder der räumlichen Lage in die Summanden selbst aufgenommen wurde. Eine derartige Entwicklung steht der Theorie sämmtlicher constitutiver Eigenschaften bevor; wie denn dem menschlichen Geiste keine andere Form, unter welcher die gemeinschaftliche Wirkung verschiedener Elemente stattfinden kann, vorstellbar ist, als die der Summe.

DIE

ROTATIONSMOMENTE DER BEUGEMUSKELN

AM

ELLBOGENGELENK DES MENSCHEN

VON

W. BRAUNE,
ORD. MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN,

UND

O. FISCHER.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° III.

MIT FÜNF TAFELN UND SECHS HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL

1889.

Das Manuscript eingeliefert am 4. December 1888.
Der Druck beendet den 26. Februar 1889.

DIE

ROTATIONSMOMENTE DER BEUGEMUSKELN

AM

ELLBOGENGELENK DES MENSCHEN

VON

W. BRAUNE UND **O. FISCHER.**

Beobachtet man die Bewegung, wie sie durch die Action der Muskeln in den menschlichen Gelenken hervorgebracht wird, so fällt auf, dass die Bewegung nahezu gleichmässig von statten geht, trotz der Veränderung der Rotationsmomente. Der Vorderarm wird aus der vollständig gestreckten Lage durch die Beugemuskeln des Ellbogengelenks bis zu seiner spitzwinkligen Stellung ohne merkliches Rucken gebracht, trotzdem die Hebelverhältnisse für die Bewegung zur Beugung äusserst ungünstig erscheinen und sich bis über die rechtwinklige Stellung hinaus immer günstiger gestalten. Nimmt man einen Faden, der an dem Insertionspunkt irgend eines Beugemuskels z. B. des Supinator longus angebracht ist und zieht daran in der Richtung des Muskels, so bemerkt man trotz möglichst gleichmässigen Zuges, dass anfangs die Erhebung des Vorderarms schwer von statten geht und dann plötzlich schneller und leichter sich ausführen lässt. Es müssen also besondere Einrichtungen getroffen sein, um diese Gleichmässigkeit der Bewegung zu ermöglichen. Diese festzustellen ist die Aufgabe unserer Untersuchung.

Bei dem Durchmustern der Literatur fand sich nichts auf diesen Gegenstand bezügliches vor. Auch sind genauere Messungen über die Verhältnisse der Rotationsmomente der Muskeln überhaupt noch sehr wenig gemacht worden. Nur die Arbeiten von A. Fick und E. Fick liegen über diesen Gegenstand vor, wenn wir von den Untersuchungen über die Augenmuskeln absehen wollen. Diese Arbeiten sind folgende:

A. Fick: Statische Betrachtung der Muskulatur des Oberschenkels (mit einleitender Bemerkung von C. Ludwig).

Zeitschrift für rationelle Medicin, IX, pag. 94, Heidelberg 1850.

E. Fick und E. Weber: Anatomisch-mechanische Studie über die Schultermuskeln.

Verhandl. der phys.-med. Gesellsch. zu Würzburg N. F. Bd. XI.

Wir nahmen zum Untersuchungsobject das menschliche Ellbogengelenk, weil die Verhältnisse sich hier am einfachsten gestalten und weil der Mechanismus dieses Gelenkes durch unsere früheren Untersuchungen uns am besten bekannt ist.

Es ist dies Gelenk mit einem Grade der Freiheit versehen, wobei jeder bewegte Knochenpunkt, trotzdem die Axe bei der Bewegung ihre Lage ändert, auf eine bestimmte Raumcurve gezwungen ist, so dass eine zwangläufige Bewegung vorliegt. Auch die Muskeln, welche die Beugung im Ellbogengelenk zustande bringen, bieten relativ einfache Verhältnisse, da sie nahezu einen parallelen Faserverlauf haben und ihre Enden nach dem Insertionspunkt zu in eine Sehne auslaufen. Aus diesem Grunde kann man eine Resultante für die Wirkung der verschiedenen Fasern annehmen, deren Richtung im Allgemeinen gegeben ist durch die Verbindungslinie von Ansatzpunkt und Ursprung des Muskels.

Die Muskeln, die wir bei unserer Untersuchung berücksichtigten, sind Pronator teres, Radialis externus longus, Brachialis internus, Biceps und Supinator longus. Am Arme No. III fand sich ein dritter Kopf des Biceps, der mit in die Untersuchung einbezogen wurde. Die Arme gehörten verschiedenen Individuen an.

Die Untersuchung wurde folgendermassen angestellt: Es galt zunächst eine Methode festzustellen, die Werthe der Rotationsmomente für den Verlauf der Beugung zu ermitteln; denn die von E. Fick verwendete Methode ist, wie später gezeigt werden soll, nicht genau genug und führt daher zu falschen Resultaten.

An einem menschlichen Arme mit gut entwickelter normaler Muskulatur wurden zu diesem Zwecke die fünf erwähnten Muskeln auspräparirt und alles Uebrige, mit Ausnahme der Gelenkbänder und Gelenkkapsel hinweggenommen. Darauf wurden nach Entfernung der sehnigen Ansätze in der Mitte jedes einzelnen Sehnenansatzes ein dünner aber fester und nicht dehnbarer Faden mit dem Knochen fest verbunden. Für den Radialis externus longus wurde die Rinne im Ligamentum carpi dorsale genommen, um so das Handgelenk ausschliessen zu können. Darauf wurde in der Mitte des Muskelursprungs je eine feine Oese eingeschlagen, durch die sich der betreffende Faden leicht durchziehen liess, und zwar wurden für den langen Kopf des Biceps die Oese am Oberarmknochen am Sulcus

intertubercularis eingeschlagen und für den kurzen Kopf am Processus coracoideus der Scapula, nachdem das Schulterblatt in feste Verbindung mit dem Humerus in mittlerer oder Normalstellung gebracht worden war. Nach der Insertionsstelle zum Radius hin wurden beide Fäden fest mit einander verbunden, um die Verhältnisse des Muskels möglichst nachzuahmen. Darauf wurde der Humerus in horizontaler Lage festgeschraubt, die Vorderarmknochen wurden in mittlerer Pronationsstellung fest mit einander verbunden und mit einer langen Nadel versehen, welche am Capitulum Ulnae in die Längsrichtung der Ulna in diesen Knochen fest eingefügt war. Die Spitze der Nadel, an welcher ein Bleistift rechtwinklig angebracht war, beschrieb auf einer daneben angebrachten Platte einen Kreisbogen in grossen Dimensionen, nämlich von ca. $^3/_4$ m Radius, da die Platte möglichst senkrecht zu der mittleren Lage der Ellbogenaxe gestellt war. Dieser Kreis wurde in Grade eingetheilt, so dass dadurch das Ablesen der Beugegrade leicht und genügend genau ermöglicht wurde.

Die Rotationsmomente lassen sich aus den Verkürzungen gewinnen, die ein Muskel während der Beugung aus der äussersten Streckstellung bis zur äussersten Beugestellung nach einander durchmacht und zwar auf folgende Weise. Man construirt zunächst die Verkürzungscurve des Muskels so, dass als Abscissen Strecken genommen werden, welche den Beugegraden proportional sind und so direct z. B. in der Anzahl von Millimetern die Anzahl der Beugegrade ausdrücken. Als zugehörige Ordinaten werden dann die Verkürzungen angesetzt, welche der Muskel bis zu den betreffenden Graden der Beugung von der Streckstellung aus eingegangen ist.

Legt man nun in irgend einem Punkte der Verkürzungscurve die Tangente an dieselbe, so bildet diese Tangente, genügend verlängert, einen bestimmten Winkel mit der Abscissenaxe.

Die trigonometrische Tangente dieses Winkels ist nun bei constanter Muskelkraft P proportional mit dem Rotationsmoment des Muskels für den Grad der Beugung, welcher zu dem bestimmten Punkte der Curve gehört.

Mathematische Ableitung dieses Satzes.

In Figur 1 stelle die Linie GH die Richtung der Längsaxe des Humerus, GA die kürzeste Entfernung des Muskelansatzpunktes A am Vorderarm von der Momentanaxe der Bewegung im Ellbogengelenk und GE die Richtung dieser Linie GA in der extremen Strecklage des Vorderarms gegen den Oberarm dar.

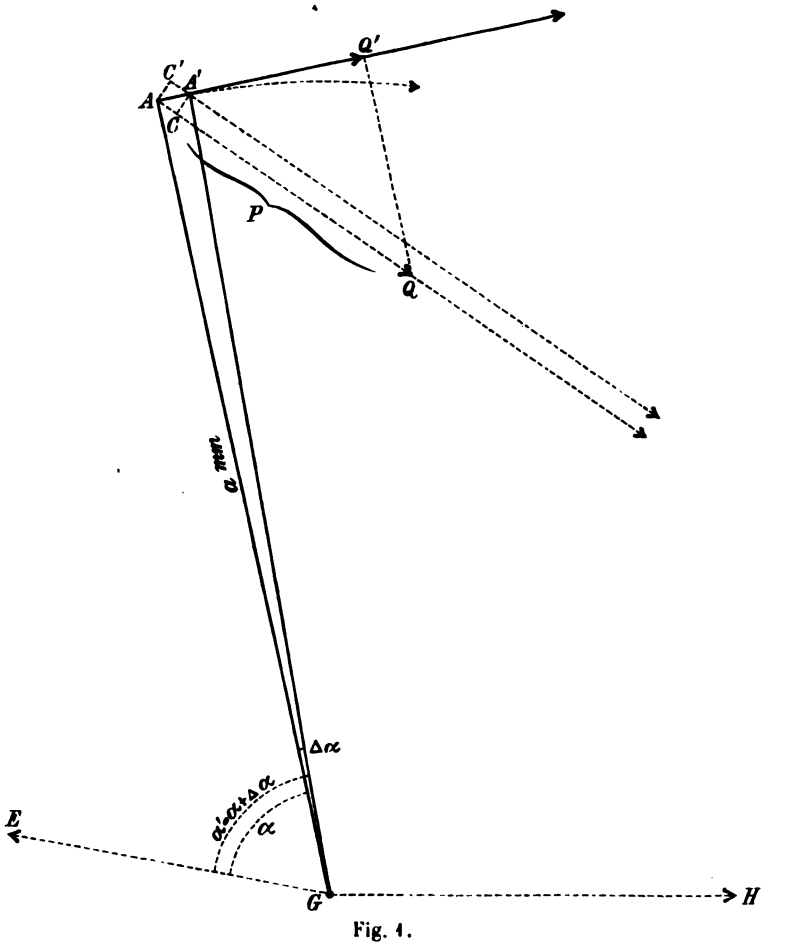


Fig. 1.

GA soll unverkürzt in der Ebene der Zeichnung liegen, während das für GH und GE im Allgemeinen nicht der Fall zu sein braucht. Die Ebene der Zeichnung soll auf der momentanen Bewegungsaxe senkrecht stehen. Die Momentanaxe markirt sich daher in der

Zeichnung nur als ein Punkt, nämlich G. Die Richtung von AQ bezeichne die Richtung, in welcher der betreffende Muskel zieht, die Länge von AQ aber drücke die Grösse der Kraft P aus, mit der die Querschnittseinheit des Muskels in dem betreffenden Momente arbeitet. Auch die Linie AQ wird gewöhnlich nicht in der Ebene der Zeichnung liegen und ist deshalb, wie alle Linien in der Figur, die nur mit einem Punkte dieser Ebene angehören, punktirt worden.

Wenn nun die Länge des Hebelarmes AG a Millimeter beträgt, so soll unter dem Rotationsmoment des Muskels diejenige Kraft verstanden sein, welche am Hebelarm von 1 mm dasselbe leistet als die Kraft P des Muskels für den Querschnitt von 1 qcm am Hebelarm von a mm. Es wird demnach das Rotationsmoment des Muskels a mal so gross sein als die Componente der Kraft P, welche in die Richtung der Tangente an die Bahn des Punktes A fällt.

Bezeichnet man den Winkel, den die Kraft P, welche dem Querschnitt 1 (1 qcm) entspricht, mit der Richtung der Bewegung im Punkte a bildet, mit β, so ist $P\cos\beta$ die betreffende Componente. Das Rotationsmoment des ganzen Muskels M ist daher $= P\cdot\cos\beta\cdot a\cdot q$, wobei q den Querschnitt bedeutet. Die Anzahl der Beugungsgrade, welche die Linie GA von der extremen Streckstellung aus bis zu der in der Figur verzeichneten Lage GA zurückgelegt hat, sei α. Der zugehörige Bogen des Kreises mit dem Halbmesser 1 (1 mm) sei ω. Es wird zwar sehr oft in der Mathematik gar kein Unterschied in der Bezeichnung eines Winkels und der seines zugehörigen Bogens gemacht; da dies aber in unserer weiteren Entwicklung zu Irrthümern Veranlassung bieten könnte, so ist immer die Bezeichnung α für die Anzahl der Beugegrade von der Bezeichnung ω für den zugehörigen Bogen ausdrücklich auseinander gehalten worden. Bei anderen, wie z. B. dem später eingeführten Winkel ε, ist es der Einfachheit der Darstellung halber nicht gethan worden, da in Bezug auf denselben Verwechselung ausgeschlossen schien. Wenn nun die Beugung um einen sehr kleinen Winkel zugenommen hat, so dass der neue Beugungswinkel $\alpha' = \alpha + \Delta\alpha$ ist, wobei unter $\Delta\alpha$ die Differenz $\alpha' - \alpha$, d. h. aus der Anzahl der neuen und alten Beugungsgrade zu verstehen ist, so hat sich die Linie AG dabei um den sehr kleinen Winkel $\Delta\alpha$ resp. um den sehr kleinen Bogen $\Delta\omega$

gedreht, und der Punkt A hat sich nach A' fortbewegt. Der kleine Bogen AA' ist nun a mal so gross als der kleine Bogen $\Delta\omega$. Dieser Bogen $\Delta\omega$ hat die Grösse $\Delta\alpha \cdot \frac{\pi}{180}$; folglich ist die Länge des Bogens $AA' = a \cdot \Delta\omega = a \cdot \Delta\alpha \cdot \frac{\pi}{180}$.

Wenn die Bewegung des Vorderarms um einen so kleinen Winkel erfolgt, so wird mit grosser Annäherung die Richtung des Muskelzuges sich dabei nicht geändert haben, so dass sich der Muskel um die Strecke AC dabei verkürzt hat. Der Punkt C ist dadurch gewonnen, dass man vom Punkte A' auf die Richtung AQ einen Bogen mit dem Ursprung am Oberarm als Mittelpunkt gezogen hat. Wenn der Muskel sich nicht verkürzt hätte, so würde der Punkt A auf einem Bogen mit dem Ursprung als Mittelpunkt, der also senkrecht zu AQ verläuft, bis C' gekommen sein. Dies geht aber nicht, da in Folge der Zwangsbewegung im Ellbogengelenk der Punkt A nach A' fällt. Und dies ist nur dadurch möglich, dass sich der Muskel um die Strecke $C'A' = AC$ verkürzt hat.

Für einen sehr kleinen Winkel $\Delta\alpha$ kann man mit grosser Annäherung den Bogen AA' als gerade Linie ansehen; ebenso den Bogen $A'C$.

Man hat daher in $AA'C$ annähernd ein rechtwinkliges Dreieck mit dem rechten Winkel bei C, und dem Winkel $A'AC = \beta$. In diesem rechtwinkligen Dreieck ist $\cos\beta = \frac{AC}{AA'}$.

Ist die Länge des Muskels für die Lage AG des Unterarmes L, so wird bei der Bewegung um den Winkel $\Delta\alpha$ dieselbe um ein kleines Stück ΔL abgenommen haben, also dann $L - \Delta L$ betragen. Dem entsprechend wird die Verkürzung von V Millimeter, die der Muskel bis dahin eingegangen ist, um dieselbe kleine Strecke, die wir jetzt ΔV nennen wollen, zugenommen haben, so dass dann die Verkürzung $V + \Delta V$ beträgt. Diese Zunnahme ist aber in unserer Figur die Strecke AC.

Setzt man nun für AC ΔV und für AA' den früher gefundenen Werth $a \cdot \Delta\alpha \cdot \frac{\pi}{180}$ ein, so folgt für $\cos\beta = \frac{\Delta V}{a \cdot \Delta\alpha \cdot \frac{\pi}{180}} = \frac{180}{a \cdot \pi} \frac{\Delta V}{\Delta\alpha}$.

Nun war $M = P \cdot \cos\beta \cdot a \cdot q$; setzt man also den Werth für $\cos\beta$ ein, so erhält man:

$$M = P \cdot q \cdot \frac{180}{a \cdot \pi} \frac{\Delta V \cdot a}{\Delta \alpha} = P \cdot q \cdot \frac{180}{\pi} \frac{\Delta V}{\Delta \alpha}.$$

Dabei ist also die Verkürzung V als Function der Anzahl α der zurückgelegten Beugegrade aufgefasst. Es würde dem Usus in der Mathematik mehr entsprechen, V als Function des Bogens ω einzuführen, so dass man, da $\omega = \frac{\pi}{180}\alpha$ ist, für M die einfachere Formel $M = P \cdot q \cdot \frac{\Delta V}{\Delta \omega}$ erhalten würde. Es ist dies aber aus Zweckmässigkeitsgründen nicht gethan worden. Beim Versuch liest man direct die Beugegrade und die zugehörigen Verkürzungen ab und müsste dann erst jedesmal den zugehörigen Bogen berechnen, um die Curve zu construiren, welche die Abhängigkeit der Verkürzung V vom Bogen ω ausdrückt. Uebrigens steht dem mathematisch durchaus nichts entgegen, V als Function von α aufzufassen, sofern man nur unter V und α blosse Zahlen versteht, nämlich nnter V die Anzahl der Millimeter, welche die Verkürzung enthält und unter α die Anzahl der Beugegrade. Um die Curven zu construiren, welche die Abhängigkeit der Zahl V von der Zahl α ausdrückt, hat man dann nur die Abscissen auch α Millimeter lang zu machen, wenn man als Ordinaten V Millimeter aufträgt.

Unsere Ableitung war gemacht für einen sehr kleinen Winkel $\Delta\alpha$. Da für einen endlichen Werth von $\Delta\alpha$ AA' und AC' nicht genau gerade Linien, sondern Kreisbögen sind, so gilt die Formel zunächst nur mit grosser Annäherung. Die Annäherung ist aber um so grösser, je kleiner $\Delta\alpha$ ist; hat dagegen $\Delta\alpha$ einen grösseren Werth wie 5° oder 10°, so ist die Formel unbrauchbar. Betrachtet man nun nicht die Bewegung um einen sehr kleinen Winkel $\Delta\alpha$, sondern um einen unendlich kleinen Winkel $d\alpha$, so geht in der Formel $\Delta\alpha$ der Differenzenquotient $\frac{\Delta V}{\Delta\alpha}$ in den Differentialquotient $\frac{dV}{d\alpha}$ über und die Formel wird ablolut richtig. Dann geht die obige Formel über in $M = P \cdot q \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \frac{dV}{d\alpha}$ oder auch nach dem oben Gesagten in: $M = P \cdot q \cdot \frac{dV}{d\omega}$. Bleibt die Kraft P im Verlaufe der Beugung die-

selbe, so ist also das Rotationsmoment M des Muskels proportional mit dem Differentialquotient $\frac{dV}{d\alpha}$.

Der Differenzenquotient $\frac{\Delta V}{\Delta \alpha}$ erfährt folgende *geometrische Interpretation*:

Ist in beifolgender Figur 2 die Curve ein Stück der Verkürzungscurve, O der Coordinatenanfang, die horizontale Gerade die Abscissenaxe und die verticale Gerade die Ordinatenaxe, so ist für den Punkt F der Verkürzungscurve die Abscisse OD die Strecke, welche durch

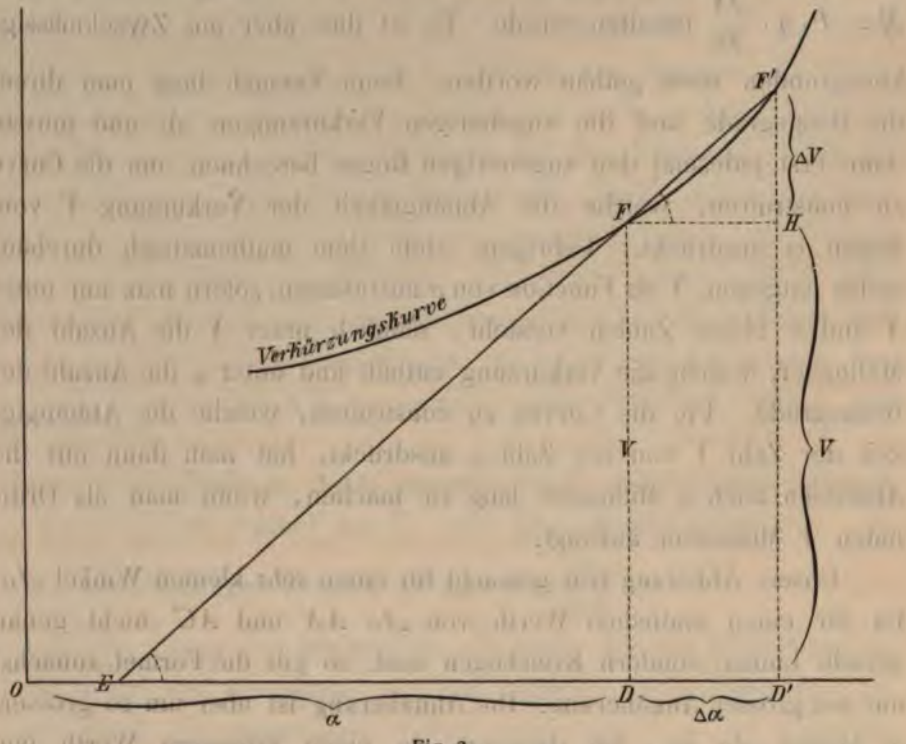


Fig. 2.

die Anzahl ihrer Millimeter die Anzahl der Beugungsgrade ausdrückt, und die Ordinate DF die Grösse der Verkürzung des Muskels. Es ist also $OD = \alpha$ mm und $DF = V$ mm. Hat die Beugung um den Winkel $\Delta\alpha$ zugenommen, so gehört zu diesem neuen Beugungswinkel $\alpha + \Delta\alpha$ der Punkt F' der Verkürzungscurve. Die Abscisse OD' des Punktes F' ist dann $(\alpha + \Delta\alpha)$ Millimeter, die Ordinate $D'F'$ $(V + \Delta V)$ Millimeter lang. Trägt man auf der Strecke $D'F'$ die frühere Verkürzung V bis zum Punkte H auf, so entsteht ein rechtwinkliges Dreieck FHF', wenn man noch die Sehne FF' zieht. In

diesem rechtwinkligen Dreieck ist die horizontale Kathete FH $\Delta\alpha$ Millimeter und die verticale Kathete HF' ΔV Millimeter lang. Der Quotient $\frac{\Delta V}{\Delta\alpha}$ ist also gleich tg $F'FH$, d. h. des Winkels, den die Sehne $F'F$ mit der Horizontalen FH bildet.

Verlängert man die Sehne über F hinaus bis zum Schnittpunkt E mit der Abscissenaxe, so ist der $\angle$ FED, den die verlängerte Sehne mit der Abscissenaxe bildet, gleich dem $\angle$ $F'FH$. Daher ist der Differenzenquotient $\frac{\Delta V}{\Delta\alpha}$ gleich der trigonometrischen Tangente des Winkels, den die verlängerte Sehne mit der Abscissenaxe bildet. Wird die Zunahme $\Delta\alpha$ des Winkels α immer geringer, so nähert sich der Punkt F' auf der Curve dem Punkte F, und wenn die Zunahme geradezu unendlich klein wird, so fällt der Punkt F' mit F zusammen, und die Sehne $F'F$ geht über in die Tangente der Curve im Punkte F. Dann ist aber auch der Differenzenquotient $\frac{\Delta V}{\Delta\alpha}$ übergegangen in den Differentialquotient $\frac{dV}{d\alpha}$; d. h. der Differentialquotient $\frac{dV}{d\alpha}$ ist gleich der trigonometrischen Tangente des Winkels, den die Tangente im Punkte F an die Verkürzungscurve mit der Abscissenaxe bildet. Da nun das Rotationsmoment M bei constanter Kraft P proportional dem Differentialquotient $\frac{dV}{d\alpha}$ ist, so ist damit der obige Satz (auf pag. 5) erwiesen.

E. Fick, der nur Messungen über die statischen Momente des Biceps gemacht hat, begeht bei seinen Untersuchungen (Anatomisch-mechanische Studie über die Schultermuskeln. Verhandlungen der phys.-med. Gesellschaft zu Würzburg. N. F. XI. Bd. pag. 123 u. ff.) den Fehler, dass er an Stelle der Tangente die Sehne zwischen zwei Punkten der Verkürzungscurve nimmt, welche zu zwei Beugungswinkeln gehört, die um 10° differiren. Hätte er von Grad zu Grad gemessen und die Sehnen gezogen, so wäre der Fehler gering und die Methode könnte annähernd richtige Resultate liefern. Bei so grossen Unterschieden jedoch, von 10° zu 10°, stellen sich grosse Ungenauigkeiten ein, sobald die Curve ihre Krümmung nicht beibehält. Die Curve ändert aber fortwährend ihre Krümmung, wie aus den weiter unten gegebenen Figuren ersichtlich ist. Alle Ver-

kürzungscurven haben im Anfang convexe Krümmung nach unten. Diese convexe Krümmung wird im Verlaufe der Beugung immer geringer und geht endlich in concave Krümmung über. Die Sehne giebt also nur dann annähernd die Richtung der Tangente an einem Punkte in der Mitte des Curvenabschnittes an, wenn der Curvenabschnitt entweder möglichst klein ist, oder wenn die Krümmung der Curve sich nicht ändert.

Durch die Anwendung dieser unrichtigen Methode gelangt E. Fick zu dem falschen Satze (a. a. O. pag. 126), dass die Verkürzung, welche ein Muskel durch Drehung des bewegten Knochens um die Drehungsaxe erfährt, direct und einfach proportional seinem Rotationsmoment (oder statischen Moment) ist, während das Rotationsmoment nur Proportionalität mit der Zunahme der Verkürzung in jedem Punkte aufweist.

Mathematisch gesprochen ist das Rotationsmoment nicht proportional mit der Verkürzung selbst, sondern mit dem Differentialquotient der Verkürzung, welche dabei als Function des Beugungswinkels aufgefasst ist.

Der oben von uns aufgestellte Satz lautete, dass das Rotationsmoment eines Muskels bei constanter Muskelkraft proportional ist mit der trigonometrischen Tangente des Winkels, den die Tangente in jedem Punkte der Verkürzungscurve mit der Abscissenaxe bildet. Dabei ist unter Verkürzungscurve die Curve zu verstehen, welche die Abhängigkeit der Verkürzung des Muskels von der Anzahl der Beugegrade darstellt. Die Verkürzung ist also als Function des Beugewinkels aufgefasst. Die nächste Aufgabe war daher, die Verkürzungscurve für jeden der Beugemuskeln des Ellbogengelenks experimentell zu bestimmen.

Bei den oben erwähnten Versuchen waren die Fäden über Rollen geleitet, so dass die daran gehängten prismatischen Metallstücke, welche die Fäden in gleichmässiger Spannung erhielten, ihre jeweilige Lage an einer dahinter liegenden Scala genau markirten, und dadurch die Verkürzungen sich direct nach Millimetern absehen liessen. Durch Uebung konnte man die Verkürzungen bis auf Bruchtheile von Millimetern schätzen. Die so gewonnenen Resultate, die an vier mit 1, 2, 3, 4 bezeichneten Armen für Beugungen von 5° zu 5° gewonnen wurden, sind in folgenden Tabellen niedergelegt.

Die Grössen der Verkürzungen

für Arm No. 1.

(Die Zahlen bedeuten Millimeter.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, l. u. k. K.	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0
5°	1	— 0,5	1	1	1
10°	1,5	0	2	3	2,5
15°	2,5	0	3	4	4,5
20°	3	0,5	4	6	6,5
25°	3,5	1	5	8	9
30°	4,5	2	6,5	10	12
35°	5	2,5	8	13	15
40°	6	3,5	9,5	15,5	18
45°	6,5	4,5	11	19	22
50°	7,5	6,5	13	22,5	26,5
55°	8,5	8	15,5	26	31
60°	9,5	10	18	30	36
65°	10,5	11,5	20	34	41
70°	11,5	13,5	22,5	37,5	46
75°	12,5	16	25	41,5	51,5
80°	13,5	18	28	46	57
85°	14,5	20,5	31	50	63
90°	16	23	34	54	69
95°	17	25,5	37	58	75
100°	18,5	28	40,5	62,5	81
105°	20	31	44	66,5	88
110°	21	33,5	47	70,5	94
115°	21,5	36,5	50	73,5	100
120°	22,5	39,5	53	77	106,5
125°	23,5	42,5	56	80	112,5
130°	24,5	44,5	59	82,5	117,5

Die Grössen der Verkürzungen

für Arm No. 2.

(Die Zahlen bedeuten Millimeter.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0	0
5°	0	0,8	1	0,8	1	0,9
10°	0	1,8	2,2	1,8	2	2
15°	0,3	2,3	3,8	2,8	3,1	3
20°	0,5	3,8	4,9	4,1	4,5	4,9
25°	1	5	6,4	5,4	5,5	6,9
30°	1,3	5,9	7,9	6,8	6,8	9,5
35°	1,6	7,4	9,6	8,5	8,1	12,8
40°	2	8,9	11,4	10,6	10,1	16,5
45°	2,5	10,5	12,8	12,6	12	20,2
50°	3	12,5	14,4	14,6	14,3	24,4
55°	3,5	15	16,4	17,6	16,9	29,4
60°	4,1	17,4	18,5	20,7	19,9	34,8
65°	4,9	20,2	20,8	23,9	22,9	40,4
70°	5,6	23	23,1	27,2	26,2	46,6
75°	6,1	26,1	25,8	31	29,7	53,1
80°	6,9	29,3	28,5	34,8	33,4	59,8
85°	7,5	33	31,2	38,7	37,1	66,9
90°	8,1	36,2	34	42,6	40,9	74,1
95°	9	39,7	36,9	46,6	44,9	81,8
100°	9,6	43,5	40,9	50,8	49,1	89,2
105°	10,1	47,2	44	55	53,5	97,6
110°	10,7	51,5	47	58,8	57,5	105,5
115°	11,3	54,9	50,5	63,1	61,9	113,6
120°	11,8	58,8	53,8	67,3	65,9	121,8
125°	12,2	62,4	57	71,2	70	129,6
130°	12,6	66	60,4	75,2	73,9	137,9

Die Grössen der Verkürzungen

für Arm No. 3.

(Die Zahlen bedeuten Millimeter.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Biceps, III. Kopf	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0	0	0
5°	0,3	— 1,1	0,9	0,8	1	1	0,9
10°	0,9	— 1,8	2,2	2,2	2,1	2	2,1
15°	1,2	— 1,8	3,2	3,1	3,2	3,3	3,2
20°	1,5	— 2	4,3	4,5	4.5	4,6	4,3
25°	2,1	— 2	5,4	6,1	5,9	5,9	5,8
30°	2,5	— 1,6	6,8	8	7,6	7,4	7,8
35°	3	— 0,7	8,2	9,9	9,6	9	10,2
40°	3,4	+ 0,4	9,6	12,4	11,9	11,1	13,4
45°	3,9	1,4	11,2	15,2	14,1	13,1	16,5
50°	4,3	2,5	12,9	17,9	17	15,8	20,3
55°	5,1	3,9	14,9	21,2	20,1	18,4	24,6
60°	6,1	5,5	16,9	24,4	23,5	21,2	28,8
65°	7,1	6,6	19,1	28,2	26,9	24,1	33,1
70°	8,1	8,6	21,5	31,7	30,7	27,5	38,8
75°	9,1	10,4	24,3	35,5	34,4	30,9	43,8
80°	10,2	12,4	26,8	39,2	38,2	34,5	49,5
85°	11,4	14,4	30	43,4	42,1	38,1	55,4
90°	12,6	17	32,8	47,3	46,1	42	61,7
95°	14	19,5	36,4	51,3	50,4	46,8	68,7
100°	15,1	22,3	39,6	55,8	54,8	50,8	75
105°	16,6	24,7	43,4	60,1	59	54,9	82,7
110°	17,9	27,4	46,5	63,8	63,2	59	88,8
115°	19	30	50	67,4	67	62,8	95,8
120°	20,1	32,6	53,4	70,8	70,8	66,5	102,8
125°	21,1	35,2	56,6	74,2	74,2	70,5	109,4
130°	22,1	38	60,4	78,2	78,4	74,5	116,3

Die Grössen der Verkürzungen

für Arm No. 4.

(Die Zahlen bedeuten Millimeter.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0	0
5°	0,8	0	1,2	1,3	1,3	0,6
10°	?	— 1	2,1	2,5	2,5	1,1
15°	?	— 1,5	3,2	3,7	3,8	2,3
20°	?	— 3	4,2	4,7	4,8	3,3
25°	?	— 3	5,3	6,1	6,1	5,4
30°	?	— 2,7	6,2	7,4	7,6	7,7
35°	?	— 2	7,2	9,1	9,3	10,6
40°	?	— 1,9	8,3	11,1	11,2	13,7
45°	7,2	— 1,3	9,4	13,1	13,2	17,1
50°	7,8	— 0,6	10,8	15,2	15,4	21,1
55°	8,4	0	12,2	17,3	17,8	24,9
60°	9	+ 0,9	13,5	20,2	20,1	29,5
65°	10	1,8	15,2	23	23,1	34,3
70°	11	2,9	17	26	26	39,9
75°	12	4	18,9	28,7	29	45,1
80°	12,8	5,7	20,7	32,1	32,2	51
85°	13,7	7	22,8	35,2	35,4	56,2
90°	15	8,8	25,2	38,7	39	63,6
95°	16,1	10,5	27,3	42,1	42,4	70,1
100°	17,4	12,4	29,7	45,7	45,9	76,8
105°	18,6	14	32,1	49,1	49,1	83,2
110°	20,5	16	34,3	52,3	52,7	90,7
115°	22,2	18	37	55,8	56,3	97,6
120°	23,9	19,9	39,2	59,2	59,6	104,6
125°	25,5	22,1	41,8	62,2	63	111,3
130°	26,4	23,9	44,1	65,2	65,9	117,6

Anmerkung: Beim Pronator teres hatte sich bei einer Reihe von Messungen der Faden verschlungen, so dass mehrere Messungen als ungültig weggelassen werden mussten; daher die Fragezeichen in der Tabelle. Das betreffende Stück der Curve ist durch Interpolation ergänzt worden.

In dem Versuche am Arm No. 1 zeigten die beiden Köpfe des Biceps, obgleich sie, wie bei allen anderen Versuchen, durch zwei gesonderte Fäden dargestellt waren, durchweg dieselben Verkürzungen; daher ist nur eine Spalte für die beiden Köpfe in der Tabelle eingerichtet worden. Bei den drei anderen Versuchen sind die Verkürzungen, so weit dies möglich war, bis auf Zehntelmillimeter geschätzt worden. Diese Zehntelmillimeter können natürlich infolge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler keinen sehr grossen Anspruch auf Genauigkeit erheben.

Nach diesen Messungen wurden die Verkürzungscurven in der Art construirt, dass als Abscissen Strecken angenommen wurden, welche durch ihre Länge direct die Anzahl der Beugegrade ausdrückten, und zwar so, dass einem Grade Beugung 1 Millimeter entsprach. Als zugehörige Ordinaten wurden die Grössen der Verkürzungen aufgetragen. Da die Verkürzungen nicht sehr bedeutend waren, — denn sie betrugen im Maximum beim Supinator nicht über 140 Millimeter — so wurden die Curven vergrössert, um mit genügender Sicherheit die Tangenten an dieselben legen zu können. Die Schätzung der Bruchtheile von Millimetern konnte nur etwa eine Genauigkeit von circa ½ Millimeter ergeben. Deshalb wurden behufs sicherer Construction die Curven um das 10fache vergrössert, und die vergrösserte Curve durch die gemessenen Punkte oder, wenn nöthig, dicht an denselben vorbei so gezogen, dass sie einen möglichst gleichmässigen Verlauf nahm. An den vergrösserten Curven markiren sich Ungenauigkeiten von wenigen Zehntelmillimetern schon ganz beträchtlich, da einer Verkürzung von einem Zehntelmillimeter an den vergrösserten Curven die Länge von 1 Millimeter entspricht. Ungenauigkeiten von 1 Millimeter an den Curven springen aber schon als deutlich wahrnehmbare Buckel in dem stetigen Verlaufe der Curven in die Augen. Da bei einer gleichmässigen Vergrösserung der Abscissen und Ordinaten einer Curve die Tangenten ihre Richtung beibehalten, so war es auf diese Weise möglich, die Richtungen der Tangenten genauer festzustellen, als es an den im richtigen Maassstabe gezeichneten Curven der Fall sein konnte.

Durch die Vergrösserung der Curven wurde es aber auch möglich, die Verkürzungswerthe hinterher genauer festzustellen, als es bei der directen Messung infolge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler ging.

Sie sind auch durch die nachträgliche Construction bis auf Hundertelmillimeter geschätzt worden, so dass man sicher wenigstens bis auf Zehntelmillimeter genau rechnen kann. Diese genaueren Ordinatenwerthe der Verkürzungscurven sind in folgenden Tabellen enthalten.

Genauere Ordinatenwerthe der Verkürzungscurven

für Arm No. 1.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, l. u. k. K.	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0
5°	0,70	— 0,32	0,96	1,31	1,17
10°	1,40	— 0,29	1,95	2,68	2,66
15°	2,11	+ 0,02	3,00	4,20	4,43
20°	2,85	0,44	4,10	5,86	6,60
25°	3,40	1,00	5,25	7,89	9,01
30°	4,35	1,70	6,52	10,22	11,72
35°	5,13	2,51	7,94	12,78	14,83
40°	5,90	3,56	9,48	15,62	18,21
45°	6,71	4,82	11,16	18,84	22,00
50°	7,51	6,26	13,10	22,30	26,30
55°	8,40	7,82	15,20	25,93	30,90
60°	9,33	9,59	17,46	29,67	35,79
65°	10,34	11,50	19,88	33,52	40,88
70°	11,39	13,52	22,39	37,49	46,08
75°	12,50	15,69	25,02	41,43	51,53
80°	13,65	18,01	27,80	45,51	57,21
85°	14,82	20,36	30,74	49,63	63,01
90°	16,03	22,76	33,85	53,87	68,87
95°	17,28	25,34	37,09	58,11	74,93
100°	18,54	27,94	40,42	62,36	81,13
105°	19,74	30,64	43,79	66,48	87,42
110°	20,86	33,53	47,04	70,39	93,84
115°	21,80	36,49	50,11	73,85	100,25
120°	22,69	39,42	53,02	77,03	106,66
125°	23,49	42,22	55,91	79,98	112,49
130°	24,24	44,60	58,74	82,54	117,67

Genauere Ordinatenwerthe der Verkürzungscurven

für Arm No. 2.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0	0
5°	0,07	0,71	1,00	0,79	0,89	0,92
10°	0,16	1,53	2,19	1,71	1,91	1,99
15°	0,32	2,47	3,51	2,80	3,02	3,29
20°	0,59	3,56	4,94	4,04	4,27	4,87
25°	0,89	4,74	6,40	5,40	5,56	6,87
30°	1,24	5,99	7,91	6,90	6,89	9,54
35°	1,62	7,32	9,51	8,60	8,34	12,67
40°	2,04	8,82	11,18	10,53	10,03	16,26
45°	2,50	10,51	12,88	12,64	12,03	20,29
50°	3,00	12,48	14,62	15,00	14,23	24,68
55°	3,58	14,77	16,46	17,70	16,80	29,49
60°	4,18	17,34	18,41	20,68	19,88	34,70
65°	4,81	20,13	20,52	23,89	22,92	40,41
70°	5,47	23,02	22,82	27,26	26,20	46,58
75°	6,14	26,09	25,38	30,87	29,71	52,94
80°	6,82	29,30	28,12	34,74	33,47	59,69
85°	7,53	32,69	31,01	38,69	37,34	66,82
90°	8,21	36,19	33,98	42,72	41,30	74,14
95°	8,88	39,80	37,10	46,80	45,31	81,66
100°	9,52	43,51	40,45	50,86	49,41	89,48
105°	10,12	47,30	43,97	54,93	53,53	97,48
110°	10,71	51,11	47,40	58,98	57,62	105,56
115°	11,26	54,96	50,78	63,03	61,70	113,77
120°	11,75	58,72	53,94	67,03	65,77	121,90
125°	12,19	62,43	57,00	71,04	69,78	129,92
130°	12,57	66,01	59,97	74,96	73,72	137,71

Genauere Ordinatenwerthe der Verkürzungscurven

für Arm No. 3.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Biceps, III. Kopf	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0	0	0
5°	0,34	— 1,12	0,95	0,85	0,95	1,00	0,91
10°	0,74	— 1,83	2,01	1,98	2,01	2,08	1,99
15°	1,18	— 2,10	3,12	3,19	3,12	3,24	3,11
20°	1,61	— 2,09	4,29	4,53	4,38	4,48	4,38
25°	2,08	— 1,92	5,52	6,11	5,89	5,83	5,88
30°	2,56	— 1,52	6,83	7,94	7,58	7,31	7,71
35°	3,05	— 0,79	8,25	10,02	9,56	9,00	10,14
40°	3,54	+ 0,18	9,70	12,40	11,80	10,98	13,27
45°	4,09	1,24	11,23	15,08	14,32	13,22	16,64
50°	4,70	2,47	12,94	17,93	17,10	15,68	20,40
55°	5,35	3,80	14,84	21,03	20,15	18,31	24,45
60°	6,10	5,28	16,85	24,37	23,42	21,19	28,79
65°	7,04	6,84	19,10	27,89	26,92	24,25	33,39
70°	8,06	8,57	21,51	31,60	30,61	27,42	38,40
75°	9,18	10,45	24,08	35,41	34,40	30,82	43,84
80°	10,31	12,49	26,73	39,31	38,21	34,38	49,52
85°	11,52	14,69	29,69	43,28	42,11	38,19	55,45
90°	12,75	17,03	32,80	47,31	46,14	42,20	61,61
95°	14,02	19,52	36,05	51,41	50,35	46,41	68,12
100°	15,32	22,08	39,50	55,53	54,62	50,74	74,94
105°	16,57	24,74	43,01	59,62	58,87	54,99	81,97
110°	17,79	27,45	46,54	63,68	63,05	59,08	89,04
115°	18,98	30,12	50,02	67,51	67,14	63,04	96,00
120°	20,09	32,74	53,40	71,09	71,15	66,85	103,00
125°	21,13	35,31	56,69	74,51	75,04	70,58	109,53
130°	22,11	37,80	59,83	77,84	78,89	74,15	116,14

Genauere Ordinatenwerthe der Verkürzungscurven

für Arm No. 4.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0	0	0	0	0	0
5°	0,76	— 0,92	1,01	1,24	1,24	0,53
10°	1,49	— 1,78	2,03	2,48	2,48	1,24
15°	2,28	— 2,39	3,09	3,70	3,70	2,19
20°	3,03	— 2,71	4,13	4,94	4,94	3,43
25°	3,80	— 2,76	5,20	6,27	6,27	5,31
30°	4,58	— 2,61	6,25	7,65	7,65	7,69
35°	5,37	— 2,31	7,34	9,23	9,23	10,51
40°	6,18	— 1,80	8,45	11,02	11,02	13,63
45°	6,99	— 1,21	9,62	13,05	13,05	17,11
50°	7,79	— 0,58	10,82	15,23	15,23	20,94
55°	8,59	+ 0,13	12,16	17,61	17,61	25,01
60°	9,43	0,94	13,64	20,24	20,24	29,49
65°	10,28	1,81	15,29	23,03	23,03	34,45
70°	11,09	2,80	17,05	25,98	25,98	39,77
75°	11,98	4,05	18,89	29,02	29,02	45,23
80°	12,92	5,43	20,78	32,16	32,18	51,06
85°	13,89	7,01	22,84	35,43	35,51	57,24
90°	14,93	8,72	25,08	38,78	38,92	63,65
95°	16,10	10,49	27,39	42,26	42,41	70,28
100°	17,38	12,32	29,79	45,74	45,88	77,00
105°	18,87	14,22	32,21	49,17	49,32	83,87
110°	20,48	16,13	34,64	52,56	52,74	90,77
115°	22,20	18,08	37,02	55,85	56,13	97,75
120°	23,92	19,97	39,27	59,08	59,48	104,60
125°	25,62	21,81	41,67	62,19	62,76	111,28
130°	27,23	23,61	43,89	65,15	65,90	117,64

Die vergrösserten Verkürzungscurven selbst sind auf ihren richtigen Maassstab wieder verkleinert worden und finden sich auf Tafel I, Fig. 3, 4, 5, 6.

An die vergrösserten Verkürzungscurven sind die Tangenten für die Beugungsgrade von 5° zu 5° gezogen worden, und für jede einzelne Tangente die trigonometrische Tangente des Winkels bestimmt, den dieselbe mit der Abscissenaxe bildet. Die Construction der Curven selbst und das Ziehen der Tangenten erforderte mehrere Wochen angestrengter Thätigkeit. Auf diese Weise wurden die Werthe des Differentialquotienten $\frac{dV}{d\alpha}$ direct gemessen, da V und α beide durch dieselbe Maasseinheit, nämlich Millimeter, dargestellt waren. Die Resultate für die vier Arme sind in folgenden vier Tabellen niedergelegt.

Die Werthe von $\frac{dV}{d\alpha}$ für Arm No. 1.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, k. u. l. K.	Supinator longus
0°	0,135	— 0,085	0,187	0,255	0,224
5°	0,137	— 0,032	0,195	0,264	0,270
10°	0,140	+ 0,029	0,205	0,282	0,330
15°	0,142	0,058	0,215	0,322	0,389
20°	0,145	0,091	0,227	0,364	0,450
25°	0,148	0,129	0,248	0,429	0,505
30°	0,151	0,165	0,270	0,492	0,579
35°	0,155	0,197	0,297	0,548	0,642
40°	0,159	0,234	0,326	0,603	0,722
45°	0,161	0,263	0,366	0,655	0,809
50°	0,171	0,299	0,398	0,699	0,885
55°	0,182	0,338	0,430	0,737	0,945
60°	0,195	0,360	0,459	0,761	0,991
65°	0,205	0,394	0,490	0,781	1,032
70°	0,215	0,418	0,513	0,791	1,071
75°	0,225	0,446	0,545	0,802	1,108
80°	0,231	0,464	0,575	0,819	1,139
85°	0,240	0,478	0,605	0,833	1,169
90°	0,248	0,494	0,636	0,852	1,196
95°	0,250	0,516	0,660	0,855	1,222
100°	0,246	0,531	0,672	0,847	1,251
105°	0,231	0,556	0,662	0,806	1,272
110°	0,206	0,580	0,636	0,723	1,291
115°	0,186	0,591	0,610	0,650	1,296
120°	0,166	0,578	0,581	0,603	1,250
125°	0,156	0,532	0,566	0,548	1,096
130°	0,144	0,450	0,553	0,482	0,977

Die Werthe von $\frac{dV}{d\alpha}$ für Arm No. 2.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0,000	0,132	0,190	0,149	0,173	0,180
5°	0,014	0,151	0,223	0,168	0,184	0,198
10°	0,026	0,171	0,250	0,204	0,219	0,234
15°	0,040	0,200	0,270	0,236	0,238	0,294
20°	0,051	0,226	0,287	0,260	0,251	0,380
25°	0,063	0,241	0,300	0,285	0,270	0,487
30°	0,073	0,261	0,313	0,311	0,288	0,590
35°	0,081	0,283	0,325	0,349	0,319	0,678
40°	0,090	0,318	0,335	0,394	0,373	0,759
45°	0,098	0,369	0,343	0,450	0,422	0,832
50°	0,108	0,426	0,358	0,506	0,487	0,914
55°	0,115	0,487	0,379	0,572	0,550	1,003
60°	0,121	0,531	0,407	0,619	0,595	1,106
65°	0,127	0,561	0,439	0,661	0,635	1,190
70°	0,133	0,595	0,483	0,699	0,675	1,264
75°	0,137	0,625	0,530	0,754	0,730	1,330
80°	0,140	0,661	0,561	0,783	0,763	1,392
85°	0,138	0,691	0,588	0,803	0,795	1,441
90°	0,134	0,714	0,617	0,815	0,810	1,483
95°	0,129	0,737	0,652	0,820	0,822	1,537
100°	0,124	0,753	0,689	0,815	0,821	1,585
105°	0,116	0,762	0,699	0,812	0,820	1,616
110°	0,110	0,763	0,684	0,808	0,819	1,640
115°	0,102	0,759	0,654	0,803	0,814	1,635
120°	0,092	0,749	0,623	0,796	0,807	1,611
125°	0,082	0,732	0,601	0,788	0,798	1,581
130°	0,070	0,711	0,588	0,776	0,784	1,549

Die Werthe von $\frac{dV}{d\alpha}$ für Arm No. 3.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Biceps, III. Kopf	Supinator longus
0°	0,065	— 0,245	0,190	0,156	0,181	0,195	0,183
5°	0,075	— 0,173	0,201	0,192	0,200	0,208	0,196
10°	0,081	— 0,096	0,215	0,223	0,216	0,229	0,215
15°	0,087	— 0,027	0,225	0,255	0,239	0,238	0,241
20°	,0,090	+ 0,028	0,238	0,293	0,271	0,256	0,276
25°	0,093	0,075	0,251	0,340	0,313	0,284	0,338
30°	0,096	0,123	0,269	0,394	0,370	0,320	0,441
35°	0,099	0,166	0,283	0,446	0,426	0,373	0,557
40°	0,103	0,202	0,301	0,506	0,488	0,424	0,641
45°	0,112	0,231	0,328	0,554	0,537	0,475	0,711
50°	0,124	0,257	0,359	0,604	0,585	0,512	0,775
55°	0,143	0,283	0,394	0,648	0,637	0,551	0,835
60°	0,169	0,309	0,430	0,688	0,677	0,591	0,896
65°	0,193	0,332	0,470	0,725	0,713	0,629	0,966
70°	0,211	0,360	0,501	0,753	0,741	0,659	1,051
75°	0,227	0,388	0,529	0,772	0,760	0,694	1,115
80°	0,239	0,421	0,562	0,787	0,776	0,739	1,171
85°	0,249	0,458	0,604	0,799	0,798	0,784	1,221
90°	0,257	0,488	0,639	0,819	0,828	0,828	1,271
95°	0,259	0,514	0,674	0,830	0,854	0,860	1,328
100°	0,256	0,530	0,699	0,822	0,849	0,855	1,374
105°	0,251	0,539	0,707	0,805	0,840	0,831	1,402
110°	0,243	0,537	0,699	0,779	0,828	0,803	1,399
115°	0,234	0,530	0,683	0,743	0,811	0,775	1,383
120°	0,221	0,520	0,662	0,703	0,790	0,750	1,365
125°	0,204	0,504	0,639	0,673	0,764	0,722	1,336
130°	0,186	0,487	0,613	0,660	0,735	0,695	1,294

Die Werthe von $\frac{dV}{d\alpha}$ für Arm No. 4.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0,143	— 0,198	0,198	0,242	0,242	0,093
5°	0,147	— 0,178	0,201	0,244	0,244	0,121
10°	0,150	— 0,140	0,203	0,246	0,246	0,162
15°	0,152	— 0,089	0,208	0,249	0,249	0,220
20°	0,154	— 0,030	0,210	0,256	0,256	0,328
25°	0,156	+ 0,012	0,212	0,271	0,271	0,434
30°	0,158	0,051	0,214	0,294	0,294	0,521
35°	0,160	0,082	0,218	0,331	0,331	0,594
40°	0,161	0,108	0,227	0,375	0,375	0,658
45°	0,162	0,124	0,236	0,415	0,415	0,737
50°	0,163	0,139	0,252	0,458	0,458	0,802
55°	0,164	0,148	0,280	0,512	0,512	0,869
60°	0,165	0,163	0,310	0,544	0,544	0,948
65°	0,168	0,188	0,340	0,574	0,574	1,018
70°	0,171	0,228	0,362	0,602	0,602	1,078
75°	0,177	0,264	0,378	0,625	0,625	1,138
80°	0,186	0,298	0,398	0,647	0,650	1,203
85°	0,201	0,330	0,424	0,664	0,671	1,260
90°	0,221	0,350	0,450	0,681	0,689	1,300
95°	0,242	0,366	0,473	0,692	0,700	1,335
100°	0,274	0,377	0,486	0,690	0,699	1,356
105°	0,307	0,387	0,492	0,682	0,691	1,378
110°	0,335	0,389	0,485	0,671	0,683	1,383
115°	0,347	0,384	0,477	0,654	0,673	1,377
120°	0,342	0,378	0,465	0,635	0,659	1,354
125°	0,330	0,358	0,453	0,611	0,640	1,303
130°	0,313	0,350	0,441	0,583	0,619	1,251

Die Formel für das Rotationsmoment (pag. 9) lautete:

$$M = P \cdot q \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \frac{dV}{d\alpha} = P \cdot q \cdot \frac{dV}{d\omega}.$$

Es sind daher die obigen Werthe für $\frac{dV}{d\alpha}$ noch mit dem Factor $\frac{180}{\pi} = 57{,}2958 \cdots$ zu multipliciren. Diese neuen Zahlen geben nun zugleich die Werthe von $\frac{dV}{d\omega}$ an, d. h. aber die Grössen der Rotationsmomente für die Muskeln, wenn sowohl die Kraft als auch der Querschnitt gleich 1 für jeden Grad der Beugung angenommen werden. Somit erhält man die Wirkung der Muskeln auf Grund der Lage ihrer Ansatzpunkte zur momentanen Gelenkaxe.

Die obige Formel basirte nicht auf der Annahme einer festen Gelenkaxe; sie behält also ihre Gültigkeit auch für die schwankende Axe des Ellbogengelenks. Daher liefert diese Methode genauere Resultate als eine Methode, welche die Rotationsmomente aus der Entfernung der Ansatzpunkte an der Gelenkaxe oder aus den Coordinaten der Ansatzpunkte in Bezug auf ein geeignetes Coordinatensystem auf rein mathematischem Wege berechnet. Denn dabei würde man geringe Schwankungen der Axe nicht in Rechnung ziehen können, sondern die stillschweigende Annahme machen, dass die Gelenkaxe für den ganzen Verlauf der Beugung ihre Lage beibehält. Dieser Fall ist späterhin mathematisch behandelt worden, um eine Vergleichung zuzulassen zwischen diesem idealen Fall und der Wirklichkeit.

Die Werthe der Rotationsmomente für den Fall, dass die Kraft im ganzen Verlaufe der Beugung constant bleibt und den Werth 1 (1 kg) besitzt und der Querschnitt für alle Muskeln gleich 1 (1 qcm) ist, finden sich in folgenden Tabellen niedergelegt. Wie schon oben erwähnt, sind dieselben aus den Tabellen für $\frac{dV}{d\alpha}$ durch Multiplication der einzelnen Werthe mit $\frac{180}{\pi}$ entstanden.

Die Werthe der Rotationsmomente für den Fall, dass P constant und gleich 1 kg und $q = 1$ qcm ist.

(P ist die Muskelkraft, welche der Querschnittseinheit (1 qcm) des Muskels entspricht.)

Für Arm No. 1.

(Die Zahlen bedeuten Kilogramm.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, l. u. k. K.	Supinator longus
0°	7,74	− 4,87	10,71	14,61	12,84
5°	7,85	− 1,83	11,17	15,13	15,47
10°	8,02	+ 1,66	11,75	16,16	18,91
15°	8,14	3,32	12,32	18,45	22,29
20°	8,31	5,21	13,01	20,86	25,78
25°	8,48	7,39	14,21	24,58	28,94
30°	8,65	9,45	15,47	28,19	33,18
35°	8,88	11,29	17,02	31,40	36,79
40°	9,11	13,41	18,68	34,55	41,37
45°	9,23	15,07	20,97	37,53	46,36
50°	9,80	17,13	22,81	40,05	50,71
55°	10,43	19,37	24,64	42,23	54,15
60°	11,17	20,63	26,30	43,61	56,78
65°	11,75	22,58	28,08	44,75	59,13
70°	12,32	23,95	29,39	45,32	61,37
75°	12,89	25,56	31,23	45,95	63,49
80°	13,24	26,59	32,95	46,93	65,26
85°	13,75	27,39	34,67	47,73	66,98
90°	14,21	28,31	36,44	48,82	68,53
95°	14,32	29,57	37,82	48,99	70,02
100°	14,10	30,43	38,51	48,53	71,68
105°	13,24	31,86	37,93	46,18	72,89
110°	11,80	33,23	36,44	41,43	73,97
115°	10,66	33,86	34,95	37,24	74,26
120°	9,51	33,12	33,29	34,55	71,62
125°	8,94	30,48	32,43	31,40	62,80
130°	8,25	25,78	31,69	27,62	55,98

Für Arm No. 2.

(Die Zahlen bedeuten Kilogramm.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0,00	7,56	10,89	8,54	9,91	10,31
5°	0,80	8,65	12,78	9,63	10,54	11,35
10°	1,49	9,80	14,32	11,69	12,55	13,41
15°	2,29	11,46	15,47	13,52	13,64	16,85
20°	2,92	12,95	16,45	14,90	14,38	21,77
25°	3,61	13,81	17,19	16,33	15,47	27,91
30°	4,18	14,96	17,93	17,82	16,50	33,81
35°	4,64	16,22	18,62	20,00	18,28	38,85
40°	5,16	18,22	19,20	22,58	21,37	43,49
45°	5,62	21,14	19,65	25,78	24,18	47,67
50°	6,19	24,41	20,51	28,99	27,91	52,37
55°	6,59	27,91	21,72	32,78	31,51	57,47
60°	6,93	30,43	23,32	35,47	34,09	63,37
65°	7,28	32,15	25,15	37,88	36,39	68,19
70°	7,62	34,09	27,68	40,05	38,68	72,43
75°	7,85	35,81	30,37	43,20	41,83	76,50
80°	8,02	37,88	32,15	44,87	43,72	79,76
85°	7,91	39,59	33,69	46,01	45,55	82,57
90°	7,68	40,91	35,35	46,70	46,41	84,98
95°	7,39	42,23	37,36	46,99	47,10	88,07
100°	7,11	43,15	39,48	46,70	47,04	90,82
105°	6,65	43,66	40,05	46,53	46,99	92,60
110°	6,30	43,72	39,19	46,30	46,93	93,97
115°	5,84	43,49	37,47	46,01	46,64	93,69
120°	2,27	42,92	35,70	45,61	46,24	72,30
125°	4,70	41,94	34,44	45,15	45,73	90,59
130°	4,01	40,74	33,69	44,46	44,92	88,76

Für Arm No. 3.

(Die Zahlen bedeuten Kilogramm.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Biceps, III. Kopf	Supinator longus
0°	3,72	—14,04	10,89	8,94	10,37	11,17	10,49
5°	4,30	— 9,91	11,52	11,00	11,46	11,92	11,23
10°	4,64	— 5,50	12,32	12,78	12,38	13,12	12,32
15°	4,99	— 1,55	12,89	14,61	13,69	13,64	13,81
20°	5,16	+ 1,60	13,64	16,79	15,53	14,67	15,81
25°	5,33	4,30	14,38	19,48	17,93	16,27	19,37
30°	5,50	7,05	15,41	22,58	21,20	18,34	25,27
35°	5,67	9,51	16,22	25,56	24,41	21,37	31,92
40°	5,90	11,57	17,25	28,99	27,96	24,30	36,73
45°	6,42	13,24	18,79	31,74	30,77	27,22	40,74
50°	7,11	14,73	20,57	34,44	33,52	29,34	44,41
55°	8,19	16,22	22,58	37,13	36,50	31,57	47,85
60°	9,68	17,71	24,64	39,42	38,79	33,86	51,34
65°	11,06	19,02	26,93	41,54	40,85	36,04	55,35
70°	12,09	20,63	28,71	43,15	42,46	37,76	60,22
75°	13,01	22,23	30,31	44,24	43,55	39,77	63,89
80°	13,69	24,12	32,20	45,10	44,46	42,34	67,10
85°	14,27	26,24	34,61	45,78	45,73	44,92	69,96
90°	14,73	27,96	36,61	46,93	47,44	47,44	72,83
95°	14,84	29,45	38,62	47,56	48,93	49,28	76,09
100°	14,67	30,37	40,05	47,10	48,65	48,99	78,73
105°	14,38	30,88	40,51	46,13	48,13	47,62	80,33
110°	13,92	30,77	40,05	44,64	47,44	45,01	80,16
115°	13,41	30,37	39,14	42,57	46,47	44,41	79,25
120°	12,66	29,80	37,93	40,28	45,27	42,97	78,21
125°	11,69	28,88	36,61	38,56	43,78	41,37	76,55
130°	10,66	27,91	35,12	37,82	42,12	39,82	74,15

Für Arm No. 4.

(Die Zahlen bedeuten Kilogramm.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	8,19	—11,35	11,35	13,87	13,87	5,33
5°	8,42	—10,20	11,52	13,98	13,98	6,93
10°	8,59	— 8,02	11,63	14,10	14,10	9,28
15°	8,71	— 5,10	11,92	14,27	14,27	12,61
20°	8,82	— 1,72	12,03	14,67	14,67	18,79
25°	8,94	+ 0,69	12,15	15,53	15,53	24,87
30°	9,05	2,92	12,26	16,85	16,85	29,85
35°	9,17	4,70	12,49	18,97	18,97	34,04
40°	9,23	6,19	13,01	21,49	21,49	37,70
45°	9,28	7,11	13,52	23,78	23,78	42,23
50°	9,34	7,96	14,44	26,24	26,24	45,95
55°	9,40	8,48	16,04	29,34	29,34	49,79
60°	9,45	9,34	17,76	31,17	31,17	54,32
65°	9,63	10,77	19,48	32,89	32,89	58,33
70°	9,80	13,06	20,74	34,49	34,49	61,77
75°	10,14	15,13	21,66	35,81	35,81	65,21
80°	10,66	17,08	22,81	37,07	37,24	68,93
85°	11,52	18,91	24,30	38,05	38,45	72,20
90°	12,66	20,06	25,78	39,02	39,48	74,49
95°	13,87	20,97	27,10	39,65	40,11	76,50
100°	15,70	21,60	27,85	39,54	40,05	77,70
105°	17,59	22,18	28,19	39,08	39,59	78,96
110°	19,20	22,29	27,79	38,45	39,14	79,25
115°	19,88	22,00	27,33	37,47	38,56	78,90
120°	19,60	21,66	26,64	36,39	37,76	77,58
125°	18,91	20,51	25,96	35,01	36,67	74,66
130°	17,93	20,06	25,27	33,41	35,47	71,68

Auf Tafel II (Figur 7, 8, 9, 10) sind die zugehörigen Curven für die Rotationsmomente in der Weise eingezeichnet worden, dass je 1 Kilogramm die Länge von 1 Millimeter entspricht.

Wenn z. B. an einer bestimmten Stelle der Verkürzungscurve die Ordinate 60 Millimeter beträgt, so heisst das: der Muskel vom Querschnitt 1 Quadratcentimeter hat an dieser Stelle das Rotationsmoment von 60 Kilogramm, wenn er mit einer Kraft von 1 Kilogramm zieht. Es würde also am Hebelarm von 1 Millimeter eine Kraft von 60 Kilogramm dasselbe leisten, wie die Muskelkraft von 1 Kilogramm an dem wirklichen Hebelarm des Muskels.

Die Betrachtung der Curven ergiebt eine ziemliche Gleichmässigkeit für dieselben Muskeln an den vier verschiedenen Armen. Davon machen nur der Radialis und der Pronator eine Ausnahme insofern, als der Radialis beim Versuch 1, 3, 4 anfangs ein negatives Rotationsmoment für die Beugung besitzt, während er beim Versuch 2 mit einem positiven Rotationsmoment gleich anfängt. Der Pronator hat beim Versuch 1, 3, 4 anfangs ein positives Moment, während er beim Versuch 2 mit dem Rotationsmoment 0 beginnt. Da beide Muskeln ganz in der Nähe der Axe ansetzen, so wird eine geringe individuelle Verschiedenheit in der Lage des Ansatzpunktes am Humerus schon beträchtliche Verschiedenheiten in den anfänglichen Rotationsmomenten hervorrufen. Diese Verschiedenheit wird um so geringer, je weiter die Beugung vorgeschritten ist, was sich auch aus den Curven ergiebt.

Die übrigen Beugemuskeln beginnen sämmtlich mit positiven Rotationsmomenten, und zwar sind dieselben bei den verschiedenen Muskeln anfangs gar nicht so sehr in ihrer Grösse von einander verschieden, was namentlich beim Versuch 2 und 3 deutlich zu sehen ist. Eine Betrachtung des Gelenkes zeigt, dass anfangs die Fäden nicht frei, sondern über die Rolle laufen, deren Radius den gemeinsamen Hebelarm für diese Muskeln abgiebt.

Da die Fäden nicht alle an derselben Stelle über die Rolle laufen, so giebt die Verschiedenheit der Rollenstärke an den verschiedenen Stellen der Rolle Veranlassung zu geringen Unterschieden in der Länge der Hebelarme. Nur der Radialis wirkt schon von Anfang an frei, d. h. unabhängig von der Rollenstärke. Der Pronator im Versuch 4 lag eine bedeutend längere Zeit auf der Rolle als alle anderen Muskeln, wie auch aus der Curve ersichtlich ist; denn er behält lange sein anfängliches Rotationsmoment bei. Eine Untersuchung des Präparates zeigte, dass am Arm 4 der Pronator seinen Ursprung nicht, wie an den anderen Präparaten, am äussersten medialen Ende des Epicondylus internus des Humerus besass, sondern oberhalb desselben etwas nach der Mitte des Knochens zu.

Eine Strecke lang bleibt dies Verhältniss bestehen, wobei sich auch wieder individuelle Verschiedenheiten zeigen, insofern es beim Versuch 3 am meisten und beim Versuch 1 am wenigsten der Fall

ist. Weiterhin gehen die einzelnen Curven mehr auseinander, entsprechend den verschiedenen Verhältnissen zwischen Entfernung des Ursprungs und der Insertion von der Gelenkaxe. Alle aber zeigen insofern dasselbe Verhältniss, als die Rotationsmomente bei zunehmender Beugung wachsen, und zwar bis über die rechtwinklige Beugestellung hinaus. Sie erreichen ein Maximum und nehmen dann wieder etwas ab. Das Wachsen der Rotationsmomente entspricht dem am Präparat sofort in die Augen springenden Umstande, dass von Anfang der Beugung an der Abstand der Verbindungslinie beider Ansatzpunkte von der Gelenkaxe immer grösser wird. Dieser Abstand erreicht später sein Maximum und wird darauf wieder kleiner. Dieser Abstand ist aber, wie bekannt, proportional dem Rotationsmoment des Muskels, indem er den idealen Hebelarm darstellt, an dem die Muskelkraft anzugreifen hätte, wenn sie direct in der Richtung der Tangente der Bahn des Angriffspunktes, also unverkürzt wirkend, dasselbe leisten sollte, als sie in der That an ihrem wahren Hebelarm leistet, wo im Allgemeinen nur eine Componente derselben den Arm beugt.

Die Maxima der Momente bei den verschiedenen Muskeln gehören zu verschiedenen Beugegraden. Jedoch liegen sie ziemlich nahe aneinander, in einer Entfernung von 20° — 30° Beugung. Die Stellen, wo sie ihr Maximum haben, sind auf den Tafeln durch punktirte Ordinaten markirt. Nur der Pronator bei Versuch 2, der ebenso wie der Pronator bei Versuch 4, abnorme Verhältnisse zeigt, erhält sein Maximum viel früher, nämlich schon bei 81° Beugung. Abgesehen vom Pronator hat der Biceps bei allen Versuchen das Maximum zuerst, und zwar ungefähr bei 95° Beugung. Der Supinator zeigt fast überall das späteste Maximum, und zwar erreicht er dasselbe in der Nähe von 110° Beugung. In der Mitte liegt der Brachialis, der sein Maximum bei allen vier Versuchen zwischen 100° und 105° Beugung zeigt.

Die grössten Rotationsmomente überhaupt zeigt der Supinator. Dann folgen Biceps, Brachialis, Radialis und zuletzt der Pronator.

Die beiden Köpfe des Biceps wiesen beim Versuch 1 absolut gleiche Rotationsmomente auf, und beim Versuch 4 nur beim letzten Stück der Beugung nicht ganz. Bei den Versuchen 2 und 3 verlaufen die Curven für beide Köpfe auch so nahe an einander, dass sie nahezu dieselben Rotationsmomente ergeben.

Die geringen Verschiedenheiten in den Curven desselben Muskels an den vier verschiedenen Präparaten sind individueller Natur. Um Resultate zu bekommen, welche von den individuellen Verschiedenheiten der Muskeln unabhängig sind, haben wir von den Werthen der Rotationsmomente desselben Muskels bei den vier Versuchen das Mittel genommen, das natürlich um so genauer ausfallen wird, je mehr Versuche zu Grunde gelegt werden.

Diese Mittel sind in folgender Tabelle niedergelegt:

Mittelwerthe der Rotationsmomente für die Einheit des Querschnitts jedes Muskels (1 qcm) und die Einheit der als constant angenommenen Muskelkraft (1 kg).

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	4,91	−5,67	10,96	11,49	12,19	9,74
5°	5,34	−3,32	11,75	12,43	12,78	11,24
10°	5,68	−0,51	12,50	13,68	13,80	13,48
15°	6,03	+2,03	13,15	15,21	15,01	16,34
20°	6,30	4,51	13,78	16,80	16,36	20,54
25°	6,59	6,55	14,48	18,98	18,38	25,27
30°	6,84	8,59	15,27	21,36	20,68	30,53
35°	7,09	10,43	16,09	23,98	23,26	35,40
40°	7,35	12,35	17,03	26,90	26,34	39,82
45°	7,64	14,14	18,23	29,71	29,06	44,25
50°	8,11	16,03	19,58	32,43	31,93	48,36
55°	8,65	17,99	21,24	35,37	34,89	52,31
60°	9,31	19,53	23,00	37,42	36,91	56,45
65°	9,93	21,13	24,91	39,26	38,72	60,25
70°	10,46	22,93	26,63	40,75	40,24	63,95
75°	10,97	24,68	28,39	42,30	41,78	67,27
80°	11,40	26,42	30,03	43,49	43,09	70,26
85°	11,86	28,03	31,82	44,39	44,36	72,93
90°	12,32	29,31	33,54	45,37	45,54	75,21
95°	12,60	30,55	35,22	45,79	46,28	77,67
100°	12,89	31,39	36,47	45,47	46,07	79,73
105°	12,96	32,14	36,67	44,48	45,22	81,19
110°	12,80	32,50	35,87	42,70	43,73	81,84
115°	12,45	32,43	34,72	40,82	42,23	81,52
120°	11,76	31,87	33,39	39,21	40,95	79,93
125°	11,06	30,45	32,36	37,53	39,39	76,15
130°	10,21	28,62	31,44	35,83	37,53	72,64

Die zugehörigen Curven befinden sich auf Tafel III, Fig. 11 (die ausgezogenen Curven).

Zum besseren Verständniss dieser Curven wollen wir einmal annehmen, dass das Ellbogengelenk ein reines Charniergelenk sei, d. h. ein Gelenk, bei dem alle Bewegungen um eine einzige feststehende Axe stattfinden. Ferner sollen die Zugrichtungen aller Beugemuskeln für jede Beugelage des Unterarms senkrecht zu dieser festen Gelenkaxe orientirt sein und sämmtlich in einer Ebene liegen. Diese Ebene würde dann zugleich die Bewegungsebene für alle in ihr liegenden Punkte des Unterarms sein. Damit wäre ein mathematisch greifbarer Fall gegeben.

Fällt in untenstehender Figur diese Bewegungsebene mit der Ebene der Zeichnung zusammen, so wird sich die Gelenkaxe nur als ein Punkt G projiciren.

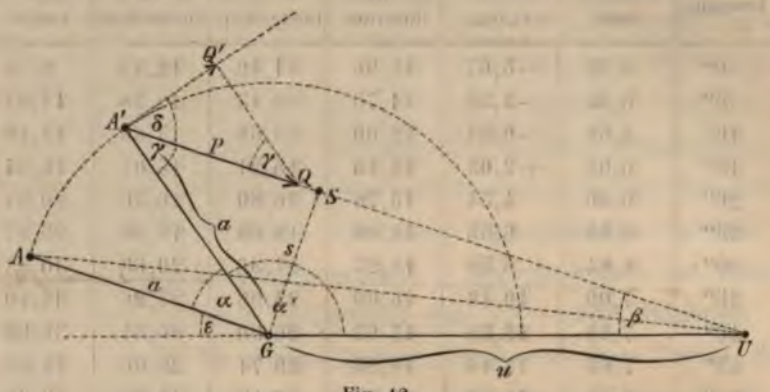


Fig. 12.

(Die zu den Winkeln α und α' gehörenden Bogen vom Halbmesser 1 sind in den späteren Formeln mit ω und ω' bezeichnet worden, um Uebereinstimmung mit den früheren Bezeichnungen herbeizuführen.)

Die Punkte U und A seien für einen bestimmten Beugemuskel der Ursprung und der Ansatzpunkt (Insertion) in der äussersten Strecklage des Unterarms gegen den feststehenden Oberarm. Die kürzesten Verbindungslinien dieser Punkte mit der Gelenkaxe, UG und AG, bilden in der äussersten Strecklage nicht nothwendig einen gestreckten Winkel mit einander, sondern die Linie AG möge mit der Verlängerung von UG über G hinaus den kleinen Winkel ε bilden. Dieser Winkel soll als positiv angenommen werden, wenn AG oberhalb der Verlängerung von UG verläuft, und muss dann negativ gerechnet werden, wenn AG unterhalb der Verlängerung von UG liegt.

Ist ε positiv, so hat der Muskel schon in der äussersten Strecklage ein positives Rotationsmoment, wie es z. B. beim Supinator der

Fall ist. Ist ε dagegen negativ, so besitzt der Muskel im Anfange der Beugung negative Rotationsmomente. Dies zeigt der Radialis.

Ist P die Kraft, mit der der Muskel mit dem Querschnitt 1 qcm in der Richtung der Verbindungslinie von Ansatzpunkt und Ursprung zieht, so kommt für die Beugung nur die Componente zur Geltung, welche aus P erhalten wird durch Multiplication mit dem Cosinus des Winkels, den die Zugrichtung des Muskels mit der Tangente an die Bahn des Ansatzpunktes bildet. Die Beugung möge aus der äussersten Strecklage des Unterarms um einen Winkel α stattgefunden haben. Dann ist der Punkt A nach A' gekommen, und die Zugrichtung des Muskels $A'U$ möge mit der Tangente an den Kreisbogen AA' in A' den Winkel δ, mit der neuen Lage GA' der kürzesten Verbindungslinie des Ansatzpunktes mit der Gelenkaxe den Winkel γ bilden. Es sollen nun in Zukunft, wie es in der Mathematik gebräuchlich ist, unter ε, β, γ, δ in den Formeln nicht die Winkel, sondern die zugehörigen Bogen verstanden sein, während aus früher (pag. 9) dargelegten Gründen für die zu den Winkeln α und α' gehörenden Bogen die Bezeichnungen ω und ω' angewendet werden.

In der Figur ist die Kraft P durch die Strecke $A'Q$ repräsentirt; die Componente der Kraft P, welche bei der Beugung zur Geltung kommt, ist dann $A'Q' = P \cdot \cos\delta$ oder $= P \cdot \sin\gamma$.

Bezeichnet man mit a den Abstand des Ansatzpunktes, mit u den Abstand des Ursprungs von der Gelenkaxe und mit α' den Winkel, den die neue Lage $A'G$ mit UG bildet, so ist zunächst die Grösse des Rotationsmomentes

$$M = P \cdot \sin\gamma \cdot a \cdot q,$$

wo q die Grösse des Querschnitts des Muskels in Quadratcentimetern bedeutet.

Aus dem Dreieck $A'GU$ folgt nun, wenn gleich an Stelle der Winkel die Bogen eingeführt werden:

$$\sin\gamma : \sin\omega' = u : A'U, \quad \text{also } \sin\gamma = \frac{u \cdot \sin\omega'}{A'U}.$$

Nun ist nach dem Cosinussatze der Trigonometrie:

$$A'U = \sqrt{a^2 + u^2 - 2au\cos\omega'},$$

folglich ist

$$M = P \cdot q \cdot \frac{a \cdot u \cdot \sin\omega'}{\sqrt{a^2 + u^2 - 2au\cos\omega'}}.$$

Ferner ist $\sin \omega' = \sin (\omega + \varepsilon)$

und $\cos \omega' = -\cos (\omega + \varepsilon)$,

daher folgt für das Rotationsmoment der Werth

$$M = P \cdot q \cdot \frac{a \cdot u \cdot \sin (\omega + \varepsilon)}{\sqrt{a^2 + u^2 + 2au \cos (\omega + \varepsilon)}} .$$

Dieser Ausdruck für das Rotationsmoment ist zwar ziemlich einfach; er eignet sich aber nicht sehr für die Berechnung der Rotationsmomente bei den verschiedenen Beugegraden mit Hülfe der logarithmischen Tafeln, da die Rechnung zu oft durch Aufschlagen des Numerus unterbrochen werden muss.

Aus diesem Grunde soll noch ein anderer Ausdruck für M aufgestellt werden, mit Hülfe dessen sich die einzelnen Werthe der Rotationsmomente bequemer berechnen lassen.

Es ist nämlich in der Gleichung

$$M = P \cdot q \cdot a \cdot \sin \gamma \quad \text{(pag. 35)}$$

der Factor $a \cdot \sin \gamma$, mit dem die Kraft $P \cdot q$ multiplicirt wird, gleich dem Abstand GS oder s der Zugrichtung des Muskels von der Gelenkaxe. Dieser Abstand wird gewöhnlich der ideale Hebelarm des Muskels genannt. Dieser ideale Hebelarm hat aber zugleich auch den Werth $u \cdot \sin \beta$, wo β den Winkel darstellt, den die Zugrichtung des Muskels mit der kürzesten Verbindungslinie des Ursprungs U mit der Gelenkaxe bildet; so hat man für das Rotationsmoment M auch die Gleichung: $M = P \cdot q \cdot u \cdot \sin \beta$.

Es sollen nun die beiden Bogen γ und β durch die Bogen ω und ε ausgedrückt werden. Zunächst ist

$$\operatorname{tang} \frac{\gamma - \beta}{2} : \operatorname{tang} \frac{\gamma + \beta}{2} = u - a : u + a .$$

Da nun $\gamma + \beta = \omega + \varepsilon$ ist, so folgt hieraus:

$$\operatorname{tang} \frac{\gamma - \beta}{2} = \frac{u - a}{u + a} \operatorname{tang} \frac{\omega + \varepsilon}{2}$$

und hieraus: $$\frac{\gamma - \beta}{2} = \operatorname{arctang} \left(\frac{u - a}{u + a} \operatorname{tang} \frac{\omega + \varepsilon}{2} \right) .$$

Da ferner $$\frac{\gamma + \beta}{2} = \frac{\omega + \varepsilon}{2}$$

ist, so folgt daraus durch Addition beider Gleichungen:

$$\gamma = \frac{\omega + \varepsilon}{2} + \operatorname{arctang}\left(\frac{u - u}{u + a} \operatorname{tang} \frac{\omega + \varepsilon}{2}\right).$$

Daher wird

$$M = P \cdot q \cdot a \cdot \sin\left[\frac{\omega + \varepsilon}{2} + \operatorname{arctang}\left(\frac{u - a}{u + a} \operatorname{tang} \frac{\omega + \varepsilon}{2}\right)\right].$$

Diese Formel eignet sich zur Berechnung der Rotationsmomente für einen Muskel, bei dem u grösser als a ist.

Ist u kleiner als a, so könnte man zwar auch diese Formel verwenden, nur wird dann $u - a$ negativ. Man bekommt aber eine der obigen ganz entsprechende Formel, in der u die Stelle von a und a die Stelle von u vertritt, wenn man von der Gleichung

$$M = P \cdot q \cdot u \cdot \sin \beta$$

ausgeht. Man erhält nämlich auf ganz analogem Wege für M:

$$M = P \cdot q \cdot u \cdot \sin\left[\frac{\omega + \varepsilon}{2} + \operatorname{arctang}\left(\frac{a - u}{a + u} \operatorname{tang} \frac{\omega + \varepsilon}{2}\right)\right].$$

Aus Messungen an den vier benutzten Präparaten ergaben sich für die Grössen a und u, d. h. für die Abstände des Ansatzpunktes und Ursprunges von der Gelenkaxe im Mittel folgende Werthe:

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
a	113,5 mm	220,5 mm	34 mm	45 mm	45 mm	209,25 mm
u	13,75 mm	35 mm	99,5 mm	283,25 mm	283,5 mm	85,75 mm

Für den Winkel ε wurden durch Messungen an mehreren Präparaten für die einzelnen Muskeln folgende Werthe, die bis auf 5° abgerundet sind, erhalten. Ganz genau lässt sich der Winkel ε schon deshalb nicht bestimmen, weil es sehr schwierig ist, die genaue Lage der Bewegungsaxe im Anfang der Beugung anzugeben.

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
ε	− 5°	− 15°	+ 5°	+ 5°	+ 5°	+ 5°

Mit Hülfe der obigen Formeln für M berechnet man nun, unter Benutzung der angegebenen Werthe von a, u und ε folgende Tabelle für die Rotationsmomente.

Die Rotationsmomente der Beugemuskeln für den idealen Fall, dass eine feste Gelenkaxe zu Grunde liegt, zu der die Zugwirkungen aller Muskeln senkrecht gerichtet sind.

Beugungswinkel	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
— 5°	— 2,13	— 10,39	0,00	0,00	0,00	0,00
0°	— 1,06	— 7,84	2,21	3,37	3,37	5,32
+ 5°	0,00	— 5,25	4,45	6,75	6,75	10,55
10°	+ 1,06	— 2,62	6,63	10,08	10,08	15,86
15°	2,13	0,00	8,81	13,36	13,36	21,09
20°	3,18	+ 2,62	10,95	16,60	16,60	26,24
25°	4,22	5,25	13,06	19,71	19,71	31,30
30°	5,22	7,84	15,16	22,77	22,77	36,27
35°	6,21	10,39	17,14	25,65	25,65	41,16
40°	7,16	12,91	19,11	28,44	28,44	45,88
45°	8,07	15,33	20,98	31,09	31,09	50,42
50°	8,92	17,71	22,78	33,52	33,52	54,88
55°	9,73	19,95	24,55	35,82	35,82	59,08
60°	10,48	22,12	26,08	37,89	37,89	63,11
65°	11,18	24,18	27,57	39,69	39,69	66,97
70°	11,79	26,07	28,97	41,31	41,31	70,49
75°	12,33	27,86	30,23	42,61	42,61	73,74
80°	12,80	29,47	31,31	43,69	43,69	76,62
85°	13,17	30,87	32,23	44,46	44,46	79,32
90°	13,46	32,13	32,98	44,86	44,86	81,55
95°	13,65	33,14	33,56	45,00	45,00	83,35
100°	13,74	34,12	33,90	44,77	44,77	84,72
105°	13,74	34,58	34,00	44,19	44,19	85,49
110°	13,61	34,89	33,83	43,20	43,20	85,75
115°	13,38	35,00	33,39	41,85	41,85	85,32
120°	13,05	34,82	32,64	40,14	40,14	84,12
125°	12,59	34,37	31,55	38,02	38,02	82,06
130°	12,03	33,60	30,09	35,55	35,55	79,06
135°	11,37	32,55	28,25	32,71	32,71	75,03
140°	10,59	31,22	25,89	29,52	29,52	69,80
145°	9,71	29,57	23,29	25,96	25,96	63,28
150°	8,73	27,65	20,23	22,14	22,14	55,57
155°	7,66	25,44	16,73	18,04	18,04	46,73
160°	6,52	22,96	12,92	13,72	13,72	36,27
165°	5,31	20,19	8,77	9,27	9,27	24,78
170°	4,03	17,22	4,45	4,63	4,63	12,61
175°	2,71	14,03	0,00	0,00	0,00	0,00
180°	1,36	10,67	— 4,45	— 4,63	— 4,63	— 12,61
185°	0,00	7,21	— 8,77	— 9,27	— 9,27	— 24,78
190°	— 1,36	3,60	— 12,92	— 13,72	— 13,72	— 36,27
195°	— 2,71	0,00	— 16,73	— 18,04	— 18,04	— 46,73

Die zugehörigen Curven sind auch in Figur 11 auf Tafel III eingezeichnet worden (die durchbrochenen Curven), um eine directe Vergleichung derselben mit den aus unseren Versuchen abgeleiteten Momentcurven zuzulassen. Dabei sind wie früher als Abscissen Längen benutzt worden, welche durch ihre Anzahl von Millimeter die Anzahl der Beugegrade ausdrücken.

Bevor wir an eine Vergleichung der beiden Curvenarten herangehen, soll mathematisch berechnet werden, wie man aus den beiden Gleichungen für das Rotationsmoment auf pag. 37 den Beugungswinkel bestimmen kann, für den das Rotationsmoment ein Maximum besitzt.

Eine Vergleichung der beiden Formeln für M zeigt, dass man dieselbe in eine einzige Formel zusammenfassen kann. Es möge mit e_1 der kleinere und mit e_2 der grössere der beiden Abstände der Ansatzpunkte eines Muskels von der Gelenkaxe bezeichnet sein. Es bedeutet demnach also e_1 in dem Falle, wo der Ursprung weiter entfernt ist von der Gelenkaxe als die Insertion, den Abstand a und e_2 den Abstand u; ist dagegen die Insertion weiter entfernt von der Gelenkaxe als der Ursprung des Muskels, so bedeutet e_1 den Abstand u und e_2 den Abstand a. Dies vorausgesetzt lautet dann die einzige Formel für das Rotationsmoment des Muskels:

$$M = P \cdot q \cdot e_1 \cdot \sin\left[\frac{\omega+\varepsilon}{2} + \operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right],$$

oder für den Fall, dass die Kraft P gleich 1 und und ebenso der Querschnitt q gleich 1 gesetzt wird:

$$M = e_1 \cdot \sin\left[\frac{\omega+\varepsilon}{2} + \operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right].$$

Um den Werth von ω resp. von α zu finden, für den M ein Maximum wird, hat man nur zu untersuchen, für welchen Werth von ω der Differentialquotient des Moments Null wird.

Es ist

$$\frac{dM}{d\omega} = e_1 \cdot \cos\left[\frac{\omega+\varepsilon}{2} + \operatorname{arctg}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tg}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right] \cdot \left[\frac{1}{2} + \frac{\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}}{2\left(1+\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\right)^2 \operatorname{tg}^2\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\cos^2\frac{\omega+\varepsilon}{2}}\right]$$

oder

$$\frac{dM}{d\omega} = e_1 \cdot \cos\left[\frac{\omega+\varepsilon}{2} + \operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right] \cdot \frac{2e_2\left[2e_1 \cdot \cos^2\frac{\omega+\varepsilon}{2} + (e_2-e_1)\right]}{4e_1e_2 \cdot \cos^2\frac{\omega+\varepsilon}{2} + (e_2-e_1)^2}.$$

Da nun vorausgesetzt ist, dass immer e_2 grösser als e_1 ist, so kann der Factor $\dfrac{2e_2\left[2e_2\cdot\cos^2\dfrac{\omega+\varepsilon}{2}+(e_2-e_1)\right]}{4e_1e_2\cdot\cos^2\dfrac{\omega+\varepsilon}{2}+(e_2-e_1)^2}$ nicht Null werden, denn der Zähler bleibt immer positiv, da e_1 und e_2 positive Grössen sind, und der Nenner kann nicht unendlich gross werden, da e_1 und e_2 endliche Grössen sind.

Soll daher $$\frac{dM}{d\omega}=0$$ sein, so ist das nur möglich, wenn der Factor

$$\cos\left[\frac{\omega+\varepsilon}{2}+\operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right]=0$$

ist. Daraus folgt aber für den Werth ω_0 von ω, der diese Gleichung erfüllt:

$$\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}+\operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}\right)=\frac{\pi}{2}\quad\text{oder}$$

$$\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}=\operatorname{tang}\left(\frac{\pi}{2}-\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}\right)=\operatorname{cotang}\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}.$$

Durch Multiplication mit $(e_2+e_1)\sin\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}\cdot\cos\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}$ folgt dann:

$$(e_2-e_1)\sin^2\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}=(e_2+e_1)\cdot\cos^2\frac{\omega_0+\varepsilon}{2},$$

und da $\sin^2\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}=1-\cos^2\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}$ ist:

$$\cos^2\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}=\frac{e_2-e_1}{2e_2}.$$

Nun ist ferner $\cos^2\frac{\omega_0+\varepsilon}{2}=\frac{1+\cos(\omega_0+\varepsilon)}{2}$; daraus folgt:

$$1+\cos(\omega_0+\varepsilon)=\frac{e_2-e_1}{e_2}\quad\text{und}$$

$$\cos(\omega_0+\varepsilon)=-\frac{e_1}{e_2},\quad\text{also auch}\quad\cos(\alpha_0+\varepsilon)=-\frac{e_1}{e_2},$$

$$\omega_0+\varepsilon=\arccos\left(-\frac{e_1}{e_2}\right),$$

$$\omega_0=\arccos\left(-\frac{e_1}{e_2}\right)-\varepsilon.$$

Da $\cos(\omega_0 + \varepsilon)$ einen negativen Werth besitzt, so geht daraus hervor, dass das Maximum erst dann eintreten kann, wenn $\omega_0 + \varepsilon$ grösser als π, d. h. aber, wenn $\alpha_0 + \varepsilon$ grösser wie 90° geworden ist. Denn der Cosinus eines Winkels kann nicht negativ sein, so lange der Winkel kleiner ist als 90°.

Die Bestimmungsgleichung für ω_0, welche daraus gewonnen wurde, dass der Differentialquotient $\frac{dM}{d\omega} = 0$ sein soll, lässt es an sich zwar noch offen, ob die Function für den betreffenden Werth von ω ein Maximum oder ein Minimum ist. Da aber die Rotationsmomente vom Anfang der Beugung an für alle Muskeln mit wachsender Beugung zunehmen, so kann es sich hier nur um ein Maximum handeln. Man hat daher nicht nöthig, zu untersuchen, ob für den betreffenden Werth von ω, den wir mit ω_0 bezeichnet haben, der zweite Differentialquotient von M einen positiven oder negativen Werth besitzt.

Ist $a < u$, so findet also das Maximum des Rotationsmomentes bei constanter Kraft statt, wenn $\cos(\omega + \varepsilon) = -\frac{a}{u}$ oder, nach der Bezeichung der Winkel in Figur 12 (pag. 34), wenn

$$\cos\omega' = \frac{a}{u} \text{ resp. } \cos\alpha' = \frac{a}{u} \text{ ist.}$$

Dies tritt ein, wenn die Linie GA' senkrecht auf der Zugrichtung $A'U$ des Muskels steht, wie aus untenstehender Figur ersichtlich ist, in der diese Lage des Punktes A durch A_0 bezeichnet ist.

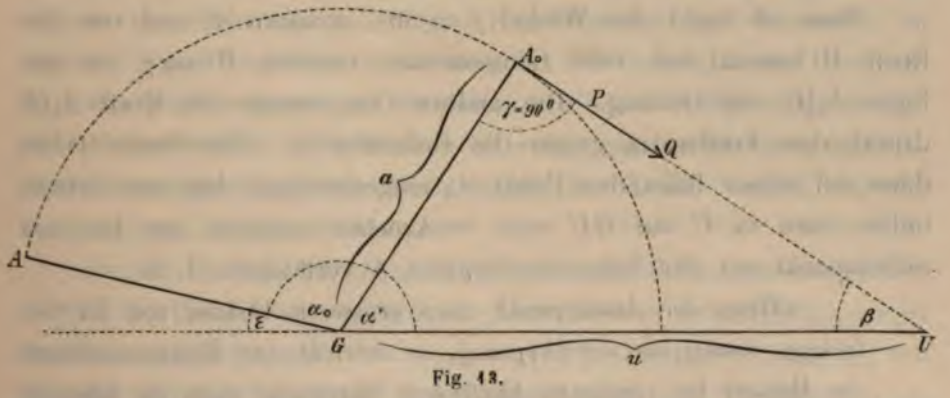


Fig. 13.

Dann ist der Winkel $\gamma = 90°$, und die Kraft P kommt in ihrer Totalität zur Wirkung; dabei fällt der ideale Hebelarm mit GA zu-

sammen. Der Punkt A hat dann auf seiner Bahn die Stelle A_0 eingenommen, welche man erhält, indem man von U aus an die Bahn des Ansatzpunktes A die Tangente construirt. D. h. aber:

»Wenn der Ansatzpunkt einen kleineren Abstand von der Gelenkaxe besitzt als der Ursprung, so erreicht das Rotationsmoment des Muskels bei constanter Kraft sein Maximum, wenn die kürzeste Verbindungslinie des Ansatzpunktes mit der Gelenkaxe senkrecht auf der Zugrichtung des Muskels steht.«

Ist $a > u$, so findet das Maximum des Rotationsmomentes statt, wenn $\cos(\omega + \varepsilon) = -\frac{u}{a}$ oder $\cos\omega' = \frac{u}{a}$ resp. $\cos\alpha' = \frac{u}{a}$ ist.

Dies tritt ein, wenn die Zugrichtung $A'U$ des Muskels senkrecht auf der Linie GU steht, wie aus Figur 14 zu ersehen ist, in der wieder diese Lage des Punktes A durch A_0 bezeichnet ist.

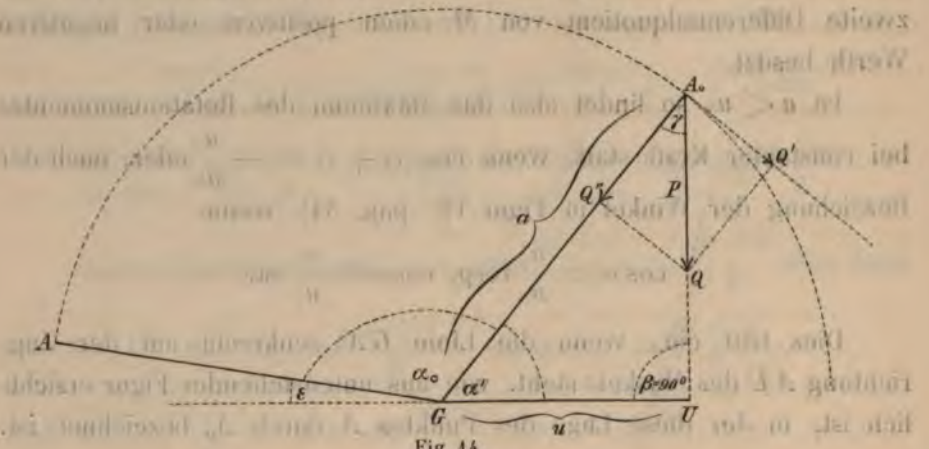


Fig. 14.

Dann ist nicht der Winkel $\gamma = 90°$, sondern β, und von der Kraft P kommt nur eine Componente, nämlich $P \cdot \sin\gamma$ (in der Figur A_0Q') zur Geltung. Die andere Componente der Kraft A_0Q'' drückt den Vorderarm gegen die Gelenkfläche. Der Punkt A hat dann auf seiner Bahn den Punkt A_0 eingenommen, den man erhält, indem man in U auf GU eine Senkrechte errichtet und bis zum Schnittpunkt mit der Bahn des Punktes A verlängert, d. h.:

»Wenn der Ansatzpunkt einen grösseren Abstand von der Gelenkaxe besitzt als der Ursprung, so erreicht das Rotationsmoment des Muskels bei constanter Kraft sein Maximum, wenn die kürzeste Verbindungslinie des Ursprungs mit der Gelenkaxe senkrecht auf der Zugrichtung des Muskels steht.«

Ist $a = u$, so ist $\cos(\omega + \varepsilon) = -1$, oder $\cos\omega' = 1$, d. h. dann fällt die Linie GA' mit GU zusammen und das Rotationsmoment nimmt auf der ganzen Strecke der Beugung zu, bis die Summe der Winkel α und ε den Werth von 180° erreicht hat.

Es ist bemerkenswerth, dass nur dann die ganze Kraft für die Beugung des Unterarms gegen den Oberarm zur Geltung kommt, wenn der Ansatzpunkt eine geringere Entfernung von der Gelenkaxe besitzt als der Ursprung, oder höchstens wenn beide Abstände einander gleich sind. Handelt es sich um die Beugung des Oberarms gegen den Unterarm, so kehrt sich das Verhältniss um, insofern die Muskelkraft nur dann in ihrer Totalität zur Wirkung kommt, wenn der Ursprung einen geringeren Abstand von der Gelenkaxe besitzt als der Ansatzpunkt. Daraus geht auch hervor, dass, wenn bei einem Muskel, für den $a < u$ ist, der Oberarm gegen den feststehenden Unterarm gebeugt wird, in der Maximumstellung ein Druck auf das Gelenk stattfindet, während dies nicht der Fall ist, wenn der Oberarm festliegt und der Unterarm gegen denselben gebeugt wird. Ist $a > u$, so findet nur dann ein Drücken des bewegten Knochens gegen das Gelenk in der Maximalstellung statt, wenn der Oberarm als fest angenommen wird. Bei den Muskeln mit $a < u$ findet von Anfang der Beugung an ein stetig abnehmender Druck auf das Gelenk statt, der beim Maximum des Rotationsmomentes Null wird und dann in Zug vom Gelenk fort übergeht. Bei den Muskeln mit $a > u$ findet stets ein Druck auf das Gelenk statt, der beim Maximum des Rotationsmomentes ein Minimum hat. Die Rotationsmomente selbst bleiben natürlich für jede Lage von Oberarm und Unterarm zu einander genau dieselben, wenn man den Oberarm oder den Unterarm als feststehend annimmt; es verändert sich nur der Hebelarm, an dem dieselbe Muskelkraft in der einen oder der anderen Richtung angreift, und dementsprechend die Componente der Kraft, welche für die Beugung zur Geltung kommt.

Ist das Verhältniss $e_1 : e_2$ nahe an der 1, d. h. sind beide Abstände nicht viel von einander in ihrer Grösse verschieden, so ist das Maximum sehr nahe an $\alpha + \varepsilon = 180°$. Je mehr e_1 und e_2 von einander verschieden sind, desto kleiner wird das Verhältnis $e_1 : e_2$ und desto näher rückt die Summe $\alpha + \varepsilon$ dem Werth 90°. Dieser Fall würde eintreten, wenn der eine der beiden Abstände gegen

den anderen verschwindend klein ist. In allen anderen Fällen hat $\alpha + \varepsilon$ einen Werth zwischen 90° und 180°, so dass stets das Maximum des Rotationsmomentes erst dann eintreten kann, nachdem die kürzeste Verbindungslinie des Ansatzpunktes mit der Gelenkaxe die rechtwinklige Lage zu der kürzesten Verbindungslinie des Ursprungs mit der Gelenkaxe passirt hat.

Die Lage des Maximums der Rotationsmomente eines Muskels ist also nur abhängig von der Grösse des Winkels ε und von dem Verhältniss $e_1 : e_2$, nicht von den absoluten Grössen von e_1 und e_2.

Um eine Vorstellung davon zu geben, in welcher Weise sich die Lage des Maximums ändert, wenn das Verhältniss $e_1 : e_2$ seinen Werth verändert, sind die Curven der Rotationsmomente nach der obigen Formel berechnet und in Figur 15 auf Tafel IV aufgezeichnet worden für den einfachen Fall, dass der kleinere der beiden Abstände e_1 immer die Grösse von 100 mm und der Winkel ε die Grösse Null hat.

Es sind sieben Curven aufgezeichnet worden, die bezüglich den Werthen $1 : \infty$, $1 : 9$, $2 : 5$, $2 : 3$, $3 : 4$, $9 : 11$, $1 : 1$ des Verhältnisses $e_1 : e_2$ entsprechen.

Man sieht aus den Curven, dass, je grösser das Verhältniss $e_1 : e_2$ wird, um so weiter das Maximum nach 180° zu rückt. Hat das Verhältniss den Werth $2 : 3$ erreicht, so ist das Maximum schon über 130° hinaus gerückt; und es würde in diesem Falle und in allen den Fällen, in denen das Verhältniss noch grösser ist, das Maximum der Rotationsmomente bei der Beugung im Ellbogengelenk überhaupt nicht zu Stande kommen können, da das Gelenk nur eine Beugung bis zu 130° zulässt. In der That ist nun für alle Beugemuskeln des Ellbogengelenkes das Verhältniss $e_1 : e_2$ kleiner als $2 : 3$. Daher kommt für alle diese Muskeln das Maximum der Rotationsmomente im Verlaufe der Beugung bis zur äussersten Beugelage von 130° wirklich zu Stande.

Der Quotient $\frac{e_1}{e_2}$ hat nach den oben (pag. 37) angegebenen Werthen der Abstände a und u für die einzelnen Muskeln folgende Grössen:

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
$\frac{e_1}{e_2}$	0,1211	0,1587	0,3417	0,1589	0,1587	0,4098

Da $-\frac{e_1}{e_2} = \cos(\alpha_0 + \varepsilon)$ ist, so folgen daraus für $\alpha_0 + \varepsilon$ (bis auf Minuten abgerundet) die Werthe:

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
$\alpha_0 + \varepsilon$	96° 58′	99° 8′	109° 59′	99° 8′	99° 8′	114° 12′

Der Winkel ε hatte, wie oben angegeben ist, für die sechs Muskeln bezüglich die Grösse: $-5°$, $-15°$, $+5°$, $+5°$, $+5°$, $+5°$. Daraus folgt für den Beugewinkel α_0, bei dem die einzelnen Muskeln das Maximum ihrer Rotationsmomente zeigen, die Tabelle:

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
α_0	101° 58′	114° 8′	104° 59′	94° 8′	94° 8′	109° 12′

Auf Tafel III, Fig. 11 sind die Curven für die mittleren Werthe der Rotationsmomente, welche aus unseren vier Versuchen resultiren, ausgezogen, die Curven, welche zu dem idealen Fall gehören, durchbrochen eingezeichnet worden. Wie aus diesen Curven ersichtlich ist, findet eine ziemliche Uebereinstimmung der aus unseren Versuchen resultirenden Curven für die Rotationsmomente der Muskeln mit den entsprechenden Curven des angenommenen idealen Falles statt. Eine wesentliche Abweichung findet bei den Muskeln mit Ausnahme des Radialis hauptsächlich zu Anfang der Beugung statt. Dies ist, wie schon oben erwähnt, daraus zu erklären, dass diese Muskeln im Anfange über die Rolle des Humerus laufen und deren Radius als Hebelarm benutzen, so lange sie nicht frei, d. h. in der Richtung der Verbindungslinie beider Ansatzpunkte wirken können. Sobald die Muskeln frei geworden sind von der Rolle, nehmen die Curven für die Rotationsmomente nahezu die Gestalt der Curven des idealen Falles an. Es zeigt sich dabei, dass dieselben fast durchweg unter den zugehörigen Curven des idealen Falles verlaufen. Dies kommt daher, weil in dem idealen Falle angenommen wurde, dass die Muskeln alle senkrecht zur Gelenkaxe wirken. In der That thut dies keiner der Muskeln genau, ganz abgesehen davon, dass die Gelenkaxe selbst ihre Lage gar nicht beibehält. Es kommt viel-

mehr immer nur eine Componente der Muskelkraft für die Beugung um die Momentanaxe zur Wirkung, nämlich die Componente der Muskelkraft, welche in einer Ebene liegt, die auf der Momentanaxe senkrecht steht. Daher werden im Allgemeinen die Rotationsmomente aus unseren Versuchen kleiner ausfallen, als die des idealen Falles, indem die Werthe der Rotationsmomente des idealen Falles noch mit dem Cosinus des Winkels multiplicirt werden müssen, den die Zugrichtung des Muskels in der betreffenden Beugelage mit der momentanen Bewegungsebene des Angriffspunktes bildet, um den wirklichen Fall zu erhalten. Es ist ferner aus den Curven ersichtlich, dass die Abweichung von der Gestalt der zugehörigen Curve des idealen Falles beim Brachialis, Biceps und Radialis bedeutender ist als bei den anderen Muskeln. Dies kann darin begründet sein, dass diese beiden Muskeln den einen Ansatzpunkt in nächster Nähe der Momentanaxe haben. In Folge dessen wird eine veränderte Lage der Momentanaxe einen grösseren Einfluss auf die Werthe der Rotationsmomente dieser Muskeln ausüben, als es z. B. beim Supinator der Fall ist. Es werden ja durch die veränderte Stellung der Gelenkaxe auch die Abstände der Ansatzpunkte von der Gelenkaxe sich ändern, und zwar für alle Muskeln in nahezu gleicher Weise. Ist der Abstand von der Gelenkaxe an und für sich gering, so wird dadurch eine bedeutendere Veränderung der Grösse desselben bedingt, als wenn dieser Abstand gegenüber der Lageveränderung der Gelenkaxe sehr gross ist. Natürlich können auch die unvermeidlichen Fehler bei der Beobachtung und der Construction der Tangente einen geringen Einfluss auf die Gestalt der Curve haben. Der Pronator, der an und für sich sehr kleine Rotationsmomente für die Beugung besitzt, musste in Folge dessen geringere Abweichungen zeigen.

Die durchbrochenen Curven sind noch in ihrem weiteren Verlaufe aufgezeichnet worden, um ein Bild zu geben, wie sich die Rotationsmomente der Muskeln weiterhin verhalten würden, wenn es möglich wäre, den Arm über 130° zu beugen. Die Curven sind sogar über 180° hinaus gezeichnet worden, weil mathematisch dem gar kein Hinderniss entgensteht. Dass der Arm auch dann, wenn keine Arretirungsapparate am Gelenk vorhanden wären, nicht bis zum Aufeinanderfallen der beiden Hebelarme gebeugt werden könnte, geht schon daraus hervor, dass ein Muskel sich natürlich nicht auf

die Länge Null verkürzen kann. Es sollte nur an dem weiteren Verlaufe der durchbrochenen Curven gezeigt werden, dass, wenn ein Muskel schon vor der äussersten Strecklage das Rotationsmoment Null besitzt, sodass er gleich mit einem positiven Moment anfängt, er das zweite Mal den Werth Null vor der Beugung von 180° erreichen würde. Die Muskeln dagegen, welche mit einem negativen Rotationsmoment beginnen, wie der Radialis und Pronator, würden bei der Beugung von 180° noch immer ein positives Rotationsmoment besitzen u. s. w.

In der Figur fällt weiterhin beim Vergleich des idealen und wirklichen Falles die geringe Differenz der Beugungsgrade auf, bei denen die Rotationsmomente das Maximum haben. Der Unterschied beträgt durchweg nicht mehr als 2°. Dieser Unterschied resultirt theils daraus, dass der Winkel ε doch immer nur bis auf eine Genauigkeit von $2^1/_2°$ angegeben ist, theils daraus, dass die Verhältnisse bei schwankender Axe auch in Bezug auf das Maximum der Rotationsmomente sich etwas anders gestalten werden, als in dem idealen Falle der festen Gelenkaxe. Sehr bedeutende Unterschiede können indess nicht davon herrühren, was ja auch die annähernde Uebereinstimmung der beiden Curvenarten bestätigt.

Wenn E. Fick bei seinen Untersuchungen das Maximum der Rotationsmomente für die beiden Köpfe des Biceps zwischen 60° und 70° Beugung findet, so kann das nur auf einem Fehler bei den Messungen beruhen; denn der Fehler, welcher aus seiner ungenauen Methode herrühren würde, kann nicht so gross sein, dass daraus ein Unterschied von circa 30° herauskommt. Die Angaben von E. Fick in der oben citirten Abhandlung sind auch in das Handbuch der Physiologie von Hermann, I. Band, II. Theil pag. 310 übergegangen. Da dies bisher die einzigen Messungen über die Rotationsmomente der Beugemuskeln des menschlichen Ellbogengelenks waren, so muss ausdrücklich ihre Werthlosigkeit hier hervorgehoben werden.

Die grosse Uebereinstimmung der beiden Curvenarten, der beobachteten und der aus den Verhältnissen der Hebelarme mathematisch abgeleiteten, zeigt, dass, wenn man von den Abweichungen im Anfange der Beugung absieht, man es hier mit einem Falle zu thun hat, der sich nahezu streng mathematisch behandeln lässt. Es werden nämlich, constante Muskelkraft vorausgesetzt, die Rotations-

momente mit Ausnahme der Verhältnisse im Anfange der Beugung mit grosser Annäherung durch die oben angegebene Gleichung (pag. 39) bestimmt sein, in der als Constante nur der Winkel ε, die Abstände e_1 und e_2 der Muskelansätze von der mittleren Lage der Gelenkaxe, die sich immer messen lassen, der Querschnitt q und die Kraft P des Muskels vorkommen.

Die Abweichungen im Anfange der Beugung, welche vom Radialis abgesehen, gleich zu Anfang ein verhältnissmässig grosses *positives* Rotationsmoment der Muskeln zeigen, haben ihre mechanische Bedeutung. Denn es würde die Bewegung, wie gross man auch die Muskelkraft annehmen möge, gar nicht eingeleitet werden können, da die positiven Rotationsmomente, welche für den Brachialis, Biceps und Supinator aus dem positiven Werthe des kleinen Winkels ε resultiren, nahezu durch die negativen Rotationsmomente aufgewogen werden, welche der Radialis und Pronator infolge des negativen Werthes von ε besitzen.

Die Werthe der Rotationsmomente in den früheren Tabellen waren immer für die Querschnittseinheit des Muskels berechnet. Als Einheit des Querschnitts soll dabei der Querschnitt von 1 qcm angenommen sein. Um die Rotationsmomente zu finden, welche den Muskeln in der Wirklichkeit, d. h. ihrem wahren Querschnitt entsprechend, bei constanter Kraft zukommen, haben wir an allen vier Armen die Grössen der Querschnitte bestimmt. Es wurde zu diesem Zweck bei jedem Muskel möglichst genau ein glatter Schnitt geführt, der alle Fleischfasern traf. Darauf wurde die Schnittfläche, ohne ihre Gestalt zu verändern, mit Stempelfarbe überzogen, welche ein genaues Bild auf dem Papier gab, wenn der Muskel vorsichtig ohne Druck an dasselbe angelegt wurde. Diese so gewonnenen Flächenräume wurden dann mit Hilfe des Planimeters gemessen. Da es sich um Alkoholpräparate handelte, so trat der Fall ein, als ob magere Individuen zu Grunde lägen, da der Alkohol die Muskeln um etwas zusammengeschrumpft hatte. Man kann wohl annehmen, dass die Abnahme des Querschnitts bei allen Muskeln in gleicher Weise stattgefunden hatte, so dass das Verhältniss wenigstens der Querschnitte zu einander ziemlich dasselbe geblieben war. Die Zulässigkeit dieser Annahme geht auch daraus hervor, dass beim Vergleich unserer Querschnittsgrössen mit denen, welche von E. Weber und

Henke an frischen Präparaten genommen wurden, kein allzugrosses Abweichen der Verhältnisse sich ergab. (E. Weber, Berichte der Königl. Sächs. Gellschaft der Wissenschaften, 1851, pag. 63 u. ff. Ueber die Längenverhältnisse der Fleischfasern der Muskeln im Allgemeinen; und Henke, die Grösse der absoluten Muskelkraft aus Versuchen neu berechnet [Dissertation von Knorz]; Zeitschrift für rationelle Medicin, von Henle und Pfeufer, 3. Reihe, 24. Band, 1865, pag. 247 u. ff.)

Die gemessenen Werthe sind in folgender Tabelle niedergelegt. Die Zahlen bezeichnen Quadratcentimeter.

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
Arm No. 1 .	2,7	3,2	6,9	3,2	2,6	1,6
Arm No. 2 .	2,0	2,2	4,2	1,9	1,5	0,9
Arm No. 3 .	2,5	3,2	6,5	3,7	2,4	2,4
Arm No. 4 .	2,0	2,3	8,5	2,5	1,7	2,0
Ed. Weber .	4,2	3,9	13,2	9,2		3,3
Henke-Knorz	2,9	—	12,9	5,5	2,9	2,6

Um die Verhältnisse der Querschnitte der verschiedenen Muskeln zu einander zu gewinnen, ist der Querschnitt des Supinator gleich 1 gesetzt worden und alle anderen Querschnitte darauf bezogen. Der Supinator eignet sich deshalb am besten dazu, weil er den kleinsten Querschnitt besitzt. Auf diese Weise ergiebt sich folgende Tabelle:

	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
Arm No. 1 .	1,7	2,0	4,3	2,0	1,6	1
Arm No. 2 .	2,2	2,4	4,7	2,1	1,7	1
Arm No. 3 .	1,0	1,3	2,7	1,5	1,0	1
Arm No. 4 .	1,0	1,1	4,2	1,2	0,8	1
Ed. Weber .	1,3	1,2	4,0	2,8		1
Henke-Knorz	1,1	—	5,0	2,1	1,1	1
Mittel . . .	1,4	1,6	4,15	1,8	1,2	1

Eine Differenz zwischen den einzelnen Verhältnissen ist allerdings vorhanden; sowohl zwischen unseren Messungen unter einander, als auch zwischen unseren Messungen und den zwei fremden. Man wird aber wohl nicht annehmen können, dass dies der Alkoholwirkung bei unseren Präparaten zuzuschreiben sei, da auch die Messungen von Henke und Weber, die beide an frischem Material arbeiteten, im Einzelnen von einander differiren. Unsere Messungen scheinen uns deshalb auch einen Werth zu besitzen, weil durch Alkohol gehärtete Muskeln sich besser schneiden lassen als frische, und die Messung mit dem Planimeter sicherere Resultate liefert, als die Messung durch Gewichtsbestimmung von prismatischen Muskelstücken, wie sie von Weber und Henke angewendet wurde. Beide Autoren betrachteten den Muskel als ein prismatisches Fleischstück, maassen an ihm die mittlere Faserlänge, das Gewicht, nahmen das specifische Gewicht als constant an und bestimmten daraus den Querschnitt, indem sie das Gewicht der Muskeln durch das Product aus Länge und spec. Gewicht dividirten. Sie verwendeten also die Formel $S = \frac{P}{pL}$, wobei L die mittlere Länge der Fleischfasern des Muskels, P sein Gewicht, p das specifische Gewicht der Muskelsubstanz $= 0{,}1583$ bedeutet.

Aus den Messungen von Weber und Henke an frischen Präparaten ergiebt sich als Mittel für den Querschnitt des Supinator longus 3 qcm. Daraus resultiren für die Querschnitte der anderen Muskeln im Mittel folgende Grössen:

Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
4,2 qcm	4,8 qcm	12,4 qcm	5,4 qcm	3,6 qcm	3,0 qcm

Um die Rotationsmomente zu bekommen, welche diesen Querschnitten der Muskeln entsprechen, hat man nur die in Tabelle pag. 33 niedergelegten Mittelwerthe der Rotationsmomente für den Querschnitt von 1 qcm bezüglich mit den Zahlen 4,2; 4,8; 12,4; 5,4; 3,6; 3,0 zu multipliciren.

Sollten durch spätere Arbeiten die wirklichen Querschnitte der betreffenden Muskeln noch genauer bestimmt werden, so hätte man dann mit diesen neuen Zahlen zu rechnen. Die Tabelle auf pag. 33 wird dabei immer den Ausgangspunkt bilden müssen. Von vorn-

herein konnten wir gar nicht die Grössen der Querschnitte in Rücksicht ziehen, da das Fundament für diese Untersuchungen die Rotationsmomente bilden müssen, welche allein aus den Hebelverhältnissen der Muskeln sich ergeben.

Die folgende Tabelle giebt die aus unseren Querschnitten berechneten Rotationsmomente an.

Die Rotationsmomente der Beugemuskeln des Ellbogengelenks, unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Querschnitte der Muskeln, wenn die Muskelkraft constant gleich 1 kg ist.

(Die Zahlen bedeuten Kilogramm.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	20,6	— 27,2	135,9	62,0	43,9	29,2
5°	22,4	— 15,9	145,7	67,1	46,0	33,7
10°	23,9	— 2,4	155,0	73,9	49,7	40,4
15°	25,3	+ 9,7	163,1	82,1	54,0	49,0
20°	26,5	21,6	170,9	90,7	58,9	61,6
25°	27,7	31,4	179,6	102,5	66,2	75,8
30°	28,7	41,2	189,3	115,3	74,4	91,6
35°	29,8	50,1	199,5	129,5	83,7	106,2
40°	30,9	59,3	211,2	145,3	94,8	119,5
45°	32,1	67,9	226,1	160,4	104,6	132,7
50°	34,1	77,1	242,8	175,1	114,9	145,1
55°	36,3	86,4	263,4	191,0	125,6	156,9
60°	39,1	93,7	285,2	202,1	132,9	169,3
65°	41,7	101,4	308,9	212,0	139,4	180,7
70°	43,9	110,1	330,2	220,0	144,9	191,8
75°	46,1	118,5	352,0	228,4	150,4	201,8
80°	47,9	126,8	372,4	234,8	155,1	210,8
85°	49,8	134,5	394,6	239,7	159,7	218,8
90°	51,7	140,7	415,9	245,0	163,9	225,6
95°	52,9	146,6	436,7	247,3	166,6	233,0
100°	54,1	150,7	452,2	245,5	165,9	239,2
105°	54,4	154,3	454,7	240,2	162,8	243,6
110°	53,8	156,0	444,8	230,6	157,4	245,5
115°	52,3	155,7	430,5	220,4	152,0	244,6
120°	49,4	153,0	414,0	211,7	147,4	239,8
125°	46,5	146,2	401,3	202,7	141,8	228,4
130°	42,9	137,4	389,9	193,5	135,1	217,9

Die zugehörigen Curven finden sich auf Tafel V, Fig. 17 vor, und zwar ist das Rotationsmoment von 10 Kilogramm durch die Länge von 1 Millimeter zur Darstellung gebracht, um die Curven nicht zu gross zu machen. Danach kann man direct von der Figur die Rotationsmomente ablesen, wenn man die Anzahl der Millimeter, welche die Ordinaten der Curven als Länge besitzen, mit 10 multiplicirt.

Auch kann man die Curven so deuten, dass die Anzahl der Millimeter die Anzahl von Kilogrammen anzeigt, welche, am Hebelarm von *1 Centimeter* angebracht, dasselbe leisten, als die Muskelkraft von 1 Kilogramm an dem wirklichen Hebelarm des Muskels.

Bei allen unseren Versuchen wurde die Kraft, mit der die Muskeln wirken, im ganzen Verlaufe der Beugung als constant angenommen. Dies trifft in der Wirklichkeit nicht zu. Die Kraft des sich contrahirenden Muskels ist in den verschiedenen Graden der Contraction nicht gleich gross, sondern nimmt mit der Contraction ab, und ist daher anfangs am grössten und wird zuletzt Null. Diesen Satz hat nach E. Weber's Angaben (Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. III, pag. 84) schon Schwann durch Versuche bewiesen (Müller's Physiologie, 1. Ausgabe 1837, Bd. II, pag. 59).

Es ist noch nicht bekannt, in welcher Weise die Abnahme der Muskelkraft bei der Contraction stattfindet; wenigstens stimmen die Angaben der Physiologen darüber noch zu wenig überein, als dass man eine Gleichung aufstellen könnte, die die Abhängigkeit der Muskelkraft von der Verkürzung darstellt.

Würde es gelingen, die Muskelkraft nach Messungen als Function $\varphi(V)$ der Verkürzung des Muskels darzustellen, so würde man dieselbe auch als Function von ω darstellen können. Ist $V = \Phi(\omega)$, so ist dann die Muskelkraft $P = \varphi(\Phi(\omega)) = f(\omega)$.

Ist diese Function unter der Annahme aufgestellt, dass die Anfangskraft den Werth 1 hat, so wird die entsprechende Gleichung für P, wenn die Anfangskraft P_0 ist, lauten:

$$P = P_0 \cdot \varphi(V)$$

oder

$$P = P_0 \cdot f(\omega) .$$

Diese Ausdrücke für P würden dann in obigen Gleichungen an Stelle der Kraft P einzusetzen sein.

Damit man die Abnahme der Muskelkraft nicht als Function der Beugung anzusehen braucht, sondern direct als Function der Verkürzung nehmen kann, wenn es gelungen sein sollte, diese Abhängigkeit festzustellen, ist oberhalb der Figur 17 auf Tafel V eine Figur No. 16 angebracht worden, auf der die Mittelwerthe der Verkürzungen für die einzelnen Muskeln aus unseren vier Versuchen als Ordinaten aufgetragen sind. Die zugehörige Tabelle, in der die berechneten Mittelwerthe eingetragen sind, folgt hier.

Mittelwerthe der Verkürzungen.

(Die Zahlen bedeuten Millimeter.)

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5°	0,47	−0,41	0,98	1,05	1,10	0,88
10°	0,95	−0,59	2,04	2,21	2,27	1,97
15°	1,47	−0,50	3,18	3,47	3,51	3,25
20°	2,02	−0,20	4,36	4,84	4,86	4,82
25°	2,54	+0,26	5,59	6,42	6,40	6,77
30°	3,18	0,89	6,88	8,18	8,08	9,16
35°	3,79	1,68	8,26	10,16	9,98	12,04
40°	4,41	2,69	9,70	12,39	12,12	15,34
45°	5,07	3,84	11,22	14,90	14,56	19,01
50°	5,75	5,16	12,87	17,61	17,21	23,08
55°	6,48	6,63	14,66	20,57	20,12	27,46
60°	7,26	8,29	16,59	23,74	23,30	32,19
65°	8,12	10,07	18,70	27,08	26,60	37,28
70°	9,00	11,98	20,94	30,58	30,07	42,71
75°	9,95	14,07	23,34	34,18	33,64	48,38
80°	10,92	16,31	25,86	37,92	37,34	54,37
85°	11,94	18,69	28,57	41,76	41,15	60,63
90°	12,98	21,17	31,43	45,67	45,06	67,07
95°	14,07	23,79	34,41	49,64	49,04	73,75
100°	15,19	26,46	37,54	53,62	53,07	80,64
105°	16,32	29,22	40,74	57,55	57,05	87,68
110°	17,46	32,05	43,90	61,40	60,95	94,80
115°	18,56	34,91	46,98	65,06	64,70	101,94
120°	19,61	37,71	49,93	68,56	68,36	109,04
125°	20,61	40,44	52,82	71,93	71,89	115,80
130°	21,54	43,00	55,61	75,12	75,26	122,29

Es sind auf Tafel III, Figur 11 die Curven der Rotationsmomente, die sich aus unseren Versuchen ergaben, zusammen mit den Curven der Rotationsmomente aufgezeichnet worden, die sich für den idealen Fall ergeben, dass die Bewegungsaxe im Ellbogengelenk fest wäre und alle Muskeln senkrecht zu derselben wirkten. Dadurch wurde eine directe Vergleichung der Rotationsmomente des wirklichen Falles und des idealen Falles ermöglicht.

Um auch eine Vergleichung der aus den Versuchen gewonnenen Verkürzungscurven mit denen des idealen Falles zuzulassen, sind noch die Verkürzungscurven für diesen Fall berechnet worden.

Aus der obigen Figur 12 (pag. 34) folgt für die Verkürzung V der Werth:

$$V = \sqrt{a^2 + u^2 + 2au\cos\varepsilon} - \sqrt{a^2 + u^2 + 2au\cos(\omega+\varepsilon)}$$

(nach dem Cosinussatz der Trigonometrie). Aus dieser Formel gewinnt man durch Differentiation den schon früher angegebenen Werth von

$$\frac{dV}{d\omega} = \frac{au\sin(\omega+\varepsilon)}{\sqrt{a^2 + u^2 + 2au\cos(\omega+\varepsilon)}}.$$

Ebensowenig wie dieser Werth für $\frac{dV}{d\omega}$, eignet sich der hier angeführte Werth von V zur Berechnung mit Hülfe der Logarithmen. Aus diesem Grunde soll auch noch ein zweiter Werth für V aufgestellt werden, der bequemer die Werthe von V auszurechnen gestattet.

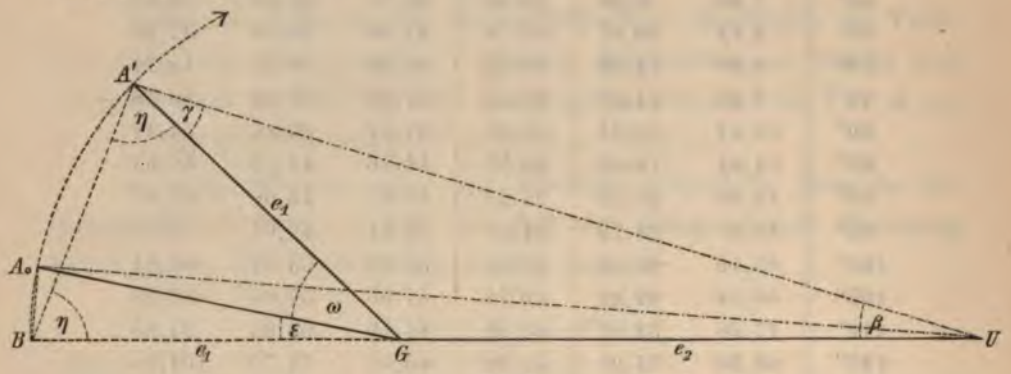


Fig. 18.

Bezeichnet man in vorstehender Figur wie früher mit e_1 den kleineren und mit e_2 den grösseren der beiden Abstände a und u,

so erhält man durch Verlängerung von UG über G hinaus um den Abstand e_1 ein Dreieck $A'BU$, in dem der Winkel $\eta = R - \frac{\omega+\varepsilon}{2}$ (da $A'BG$ ein gleichschenkliges Dreieck ist) der Seite $A'U$, und der Winkel

$$\eta + \gamma = R - \frac{\gamma+\beta}{2} + \gamma = R + \frac{\gamma-\beta}{2}$$

der Seite BU gegenüberliegt. Es ist demnach

$$A'U : e_1 + e_2 = \sin\left(R - \frac{\omega+\varepsilon}{2}\right) : \sin\left(R + \frac{\gamma-\beta}{2}\right)$$

oder $$A'U : e_1 + e_2 = \cos\frac{\omega+\varepsilon}{2} : \cos\frac{\gamma-\beta}{2}.$$

Nach dem Früheren ist nun $\frac{\gamma-\beta}{2} = \operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)$; daher ist

$$A'U = (e_1+e_2)\,\frac{\cos\frac{\omega+\varepsilon}{2}}{\cos\left[\operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right]}$$

und für den Fall, dass $\omega = 0$ ist:

$$A_0U = (e_1+e_2)\,\frac{\cos\frac{\varepsilon}{2}}{\cos\left[\operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\varepsilon}{2}\right)\right]}.$$

Es folgt daher für $A_0U - A'U$, d. h. für die Verkürzung V, der Werth:

$$V = (e_1+e_2)\left\{\frac{\cos\frac{\varepsilon}{2}}{\cos\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tg}\frac{\varepsilon}{2}\right)\right]} - \frac{\cos\frac{\omega+\varepsilon}{2}}{\cos\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tg}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)\right]}\right\}.$$

Diese Formel eignet sich schon deshalb gut zur Berechnung von V, weil man sich schon zum Zwecke der Berechnung von $\frac{dV}{d\omega}$ die Werthe von $\operatorname{arctang}\left(\frac{e_2-e_1}{e_2+e_1}\operatorname{tang}\frac{\omega+\varepsilon}{2}\right)$ festgestellt hat.

Unter Zugrundelegung der oben angeführten und schon früher verwendeten Werthe von e_1, e_2 und ε für die sechs in Frage kommenden Muskeln (pag. 37) berechnet man folgende Werthe für die Verkürzungen der Muskeln in dem angenommenen idealen Falle:

Berechnete Verkürzungswerthe.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5°	—0,05	—0,5	0,3	0,4	0,5	0,7
10°	0,0	—0,9	0,8	1,2	1,2	1,9
15°	+0,1	—1,0	1,4	2,2	2,2	3,5
20°	0,4	—0,9	2,3	3,5	3,6	5,6
25°	0,7	—0,5	3,3	5,1	5,2	8,1
30°	1,1	0,0	4,5	6,95	7,0	11,0
35°	1,6	+0,8	5,9	9,05	9,1	14,4
40°	2,2	1,9	7,5	11,4	11,5	18,2
45°	2,9	3,1	9,2	14,0	14,1	22,4
50°	3,6	4,5	11,1	16,85	16,9	27,0
55°	4,4	6,2	13,1	19,9	19,95	32,0
60°	5,3	8,0	15,3	23,1	23,15	37,3
65°	6,2	10,0	17,6	26,5	26,6	43,0
70°	7,2	12,2	20,1	30,0	30,1	49,0
75°	8,3	14,3	22,6	33,7	33,7	55,3
80°	9,4	17,1	25,2	37,4	37,5	61,9
85°	10,5	19,7	27,9	41,3	41,4	68,7
90°	11,7	22,5	30,7	45,3	45,35	75,7
95°	12,9	25,3	33,6	49,1	49,2	82,9
100°	14,1	28,25	36,5	52,9	53,0	90,2
105°	15,3	31,2	39,4	56,9	57,0	97,7
110°	16,45	34,3	42,3	60,7	60,8	105,1
115°	17,6	37,3	45,2	64,5	64,55	112,6
120°	18,8	40,4	48,1	68,0	68,1	120,4
125°	19,9	43,4	50,8	71,4	71,5	127,25
130°	21,0	46,4	53,5	74,6	74,7	134,3
135°	22,0	49,3	56,0	77,7	77,8	141,0
140°	22,9	52,1	58,3	80,2	80,3	147,3
145°	23,8	54,7	60,4	82,8	82,9	153,15
150°	24,7	57,2	62,3	84,9	85,0	158,35
155°	25,35	59,6	63,9	86,6	86,7	163,7
160°	26,0	61,6	65,2	88,1	88,2	166,75
165°	26,6	63,6	66,1	88,8	88,9	169,25
170°	26,9	65,2	66,8	89,6	89,7	170,7
175°	27,2	66,5	68,0	90,0	90,0	171,5
180°	27,25	67,7	66,8	89,6	89,7	170,7
185°	27,5	68,25	66,1	88,8	88,9	169,25
190°	27,25	68,85	65,2	88,1	88,2	166,75
195°	27,2	70,0	63,9	86,6	86,7	163,7

Es sind dabei wiederum auch die Verkürzungen über 130° Beugung hinaus berechnet worden, um zugleich einen Einblick in den weiteren Verlauf der Curven zu gewinnen, wenn die Beugung nicht auf 130° beschränkt bliebe. Die zugehörigen Curven sind wieder mit den aus den Versuchen resultirenden Verkürzungscurven gemeinsam auf Tafel III, Figur 19 aufgezeichnet worden, um einen directen Vergleich der Curven des wirklichen mit denen des idealen Falles zu ermöglichen. Die ersteren sind wie in Figur 11 auf Tafel III ausgezogen, die letzteren durchbrochen gezeichnet worden.

Es stellt sich auch hier heraus, wie zu erwarten war, dass nennenswerthe Abweichungen der beiden Curvenarten von einander nur im Anfange der Beugung zu bemerken sind, wo die Rolle die Zugrichtung des Muskels beeinträchtigt. Im Uebrigen zeigt sich nur, dass die Ordinaten der Curven des wirklichen Falles im Allgemeinen kleiner sind als die Ordinaten der Curven des idealen Falles, was ebenfalls darin seinen Grund hat, dass in der That die Muskeln nicht mit der ganzen Kraft zur Wirkung kommen, sondern nur mit einer (allerdings sehr grossen) Componente. Ueber andere Einzelheiten geben die Curven selbst genügenden Aufschluss.

Wie oben erwähnt wurde, ändert sich die Muskelkraft bei zunehmender Verkürzung.

Mag nun die Curve, welche die Abhängigkeit der Muskelkraft von der Verkürzung ausdrückt, gestaltet sein wie sie wolle, so geht doch aus dem Satze, dass die Muskelkraft bei zunehmender Verkürzung des Muskels abnimmt, hervor, dass die Rotationsmomente in Wirklichkeit nicht so stark zunehmen, wie es die Curven auf Tafel II, auf Tafel III, Fig. 11 und auf Tafel V, Figur 17 zeigen.

Vielmehr wird die Abnahme der Kraft bedingen, dass die Beugungen des Vorderarmes mit grösserer Gleichmässigkeit der Kraft ausgeführt werden als es bei constanter Kraft möglich wäre. Dies bestätigt die Beobachtung im täglichen Leben. Es wird also dadurch erklärlich, dass beim Beugen des Armes keine *ruckweise*, sondern eine mehr *stetige* Bewegung zu Stande kommt.

Um dieses Verhältniss an einem Beispiel zu erläutern, soll einmal angenommen werden, dass die Kraft des Muskels von Anfang der Verkürzung bis zur grösstmöglichen Verkürzung desselben gleichmässig abnimmt und zuletzt Null wird, so dass also die Curve,

welche die Abhängigkeit der Kraft von der Grösse der Verkürzung ausdrückt und welche nichts anderes als die Dehnungscurve des thätigen Muskels ist, sich durch eine gerade Linie darstellt. Diese Annahme ist durchaus nicht unberechtigt und hat einigen Anspruch auf Gültigkeit, denn sowohl Ed. Weber (Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. III) als auch A. Fick (Mechanische Arbeit und Wärmeentwickelung bei der Muskelthätigkeit von A. Fick, Internationale wissenschaftliche Bibliothek, Bd. 51) fanden als Dehnungscurve des tetanisirten Muskels annähernd eine gerade Linie. Allerdings sind diese Methoden, wie A. Fick selbst erklärt, noch mit zahlreichen Fehlerquellen behaftet; ausserdem ist bei allen diesen Versuchen die Anzahl der Punkte, welche von der Dehnungscurve bestimmt wurden, nicht sehr gross. In der That sind denn auch andere Forscher, wie Hermann (siehe weiter unten), zu etwas anderen Resultaten gekommen.

Wird mit v die grösstmögliche Verkürzung des Muskels, mit P_0 seine Anfangskraft und, wie bisher, mit P die jeweilige Kraft, welche zur Verkürzung V gehört, bezeichnet, so soll demnach nach Ed. Weber und Fick zwischen diesen Grössen mit grosser Annäherung die Beziehung bestehen:

$$P : P_0 = v - V : v ,$$

woraus folgt:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{1}{v} \cdot V\right) .$$

Nun erreicht nach den Untersuchungen von Ed. Weber (a. a. O.) die Verkürzung im Leben niemals die Grösse, welche sie an dem vom Gelenk abgelösten Muskel erreichen kann. Es kann sich der abgelöste Muskel um ca. 85 % seiner Länge verkürzen, während er sich im Organismus nur um 50 % wirklich verkürzt. Die wirklich stattfindende Verkürzung des Muskels v_1, die direct gemessen werden kann, steht demnach zu der möglichen Verkürzung v in dem Verhältniss:

$$v_1 : v = 50 : 85 ,$$

woraus folgt:

$$v = \frac{17 v_1}{10} .$$

Diesen Werth oben eingesetzt, hat man für die Kraft P die Gleichung:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{10}{17 v_1} V\right) .$$

Es ist demnach die Anfangskraft des Muskels mit dem Factor $\left(1 - \frac{10}{17 v_1} V\right)$ für jeden Grad der Beugung zu multipliciren. Mit dem-

selben Factor multipliciren sich daher auch die Rotationsmomente der Muskeln.

In der folgenden Tabelle sind nun die Werthe des Factors $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)$ für alle Beugemuskeln des Vorderarms unter Zugrundelegung der gemessenen Werthe von v_1 und V (vgl. die Tabelle auf pag. 53) niedergelegt worden.

Werthe des Factors $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)$.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	1	1	1	1	1	1
5°	0,99		0,99	0,99	0,99	0,99$_5$
10°	0,97		0,98	0,98	0,98	0,99
15°	0,96		0,96	0,97	0,97	0,98$_5$
20°	0,94$_5$		0,95	0,96	0,96	0,98
25°	0,93	0,99$_5$	0,94	0,95	0,95	0,97
30°	0,91	0,99	0,93	0,94	0,94	0,96
35°	0,89$_5$	0,98	0,91	0,92	0,92	0,94
40°	0,88	0,96	0,90	0,90	0,90$_5$	0,93
45°	0,86	0,95	0,88	0,88	0,89	0,91
50°	0,84	0,93	0,86	0,86	0,86$_5$	0,89
55°	0,82	0,91	0,84$_5$	0,84	0,84	0,87
60°	0,80	0,88$_5$	0,82$_5$	0,81$_5$	0,82	0,84$_5$
65°	0,78	0,86	0,80	0,79	0,79	0,82
70°	0,75$_5$	0,83	0,78	0,76	0,76$_5$	0,79$_5$
75°	0,73	0,81	0,75	0,73	0,74	0,77
80°	0,70	0,78	0,72$_5$	0,70$_5$	0,71	0,74
85°	0,67	0,74	0,70	0,67$_5$	0,68	0,71
90°	0,64$_5$	0,71	0,67	0,64	0,65	0,68
95°	0,61$_5$	0,67$_5$	0,63$_5$	0,61	0,62	0,65
100°	0,58$_5$	0,64	0,60	0,58	0,59	0,61
105°	0,55$_5$	0,60	0,57	0,55	0,55$_5$	0,58
110°	0,52	0,56	0,53$_5$	0,52	0,52$_5$	0,54$_5$
115°	0,49	0,52	0,50	0,49	0,49$_5$	0,51
120°	0,46	0,48	0,47	0,46$_5$	0,47	0,48
125°	0,44	0,44$_5$	0,44	0,44	0,44	0,44$_5$
130°	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

D. h. also z. B.: Bei 130° Beugung kommen nur noch 41 % der anfänglichen Muskelkraft zur Wirkung.

Daraus folgen die Rotationsmomente der Muskeln, wie sie in umstehender Tabelle aufgezeichnet sind.

Die Rotationsmomente der sechs Muskeln für den Fall, dass die Muskelkraft proportional mit der Länge des Muskels abnimmt.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	21		136	62	44	29
5°	22		144	66	46	34
10°	23		152	72	49	40
15°	24		157	80	52	48
20°	25		162	87	57	60
25°	26	31	169	97	63	74
30°	26	41	176	108	70	88
35°	27	49	182	119	77	100
40°	27	57	190	131	86	111
45°	28	64,5	199	141	93	121
50°	29	72	209	151	99	129
55°	30	79	223	160	105	137
60°	31	83	235	165	109	143
65°	32	87	247	167	110	148
70°	33	92	258	167	111	152
75°	34	96	264	167	111	155
80°	34	99	270	166	110	156
85°	33	100	276	162	109	155
90°	33	100	279	157	107	153
95°	33	99	277	151	103	151
100°	32	96	271	142	98	146
105°	30	93	259	132	90	141
110°	28	87	238	120	83	134
115°	26	81	215	108	75	125
120°	23	73	195	98	69	115
125°	20	65	177	89	62	102
130°	17,5	56	159	79	55	89

Die zugehörigen Curven finden sich auf Tafel V, Figur 20.

Nach Untersuchungen von L. Hermann (Pflüger's Archiv der Physiologie, IV. Jahrgang, Bonn 1871, pag. 195) nimmt dagegen, wie Hermann zwar nicht ausdrücklich bemerkt hat, wie sich aber durch Rechnung aus seinen Resultaten ableiten lässt, die Muskelkraft nahezu proportional dem Quadrate der Länge ab, so dass also im Anfange die Abnahme am stärksten ist. Bei dieser Annahme würde sich die Gleichung für P nur in der Weise ändern, dass der Factor $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)$ im Quadrat auftritt, so dass man hat:

$$P = P_0 (1 - \frac{10}{17 v_1} V)^2 .$$

Es würden sich dann die Rotationsmomente mit dem Factor $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)^2$ multipliciren, die Allgemeingültigkeit der HERMANN'schen Resultate vorausgesetzt.

Auch für diesen Fall sind die einzelnen Werthe des Factors $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)^2$ für alle sechs Muskeln berechnet und daraus die Rotationsmomente abgeleitet worden. Die Resultate sind in folgenden beiden Tabellen (pag. 61 und 62) niedergelegt worden.

Die Werthe des Factors $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)^2$.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	1	1	1	1	1	1
5°	0,97		0,98	0,98	0,98	0,99
10°	0,95		0,96	0,96$_5$	0,96$_5$	0,98
15°	0,92		0,93	0,95	0,94$_5$	0,97
20°	0,89		0,91	0,92$_5$	0,92$_5$	0,95$_5$
25°	0,86$_5$	0,99	0,88	0,90	0,90	0,93$_5$
30°	0,83	0,98	0,86	0,88	0,88	0,91
35°	0,80	0,95$_5$	0,83	0,85	0,85	0,89
40°	0,77	0,93	0,80$_5$	0,81$_5$	0,82	0,86
45°	0,74	0,90	0,78	0,78	0,78$_5$	0,83
50°	0,71	0,86	0,75	0,74	0,75	0,79
55°	0,68	0,83	0,71	0,70	0,71	0,75
60°	0,64	0,78$_5$	0,68	0,66	0,67	0,71$_5$
65°	0,60$_5$	0,74	0,64	0,62	0,63	0,67$_5$
70°	0,57	0,70	0,60	0,58	0,59	0,63
75°	0,53	0,67	0,57	0,54	0,54	0,59
80°	0,49	0,60	0,53	0,49$_5$	0,50	0,55
85°	0,45	0,55	0,49	0,45$_5$	0,46	0,50
90°	0,42	0,50$_5$	0,44$_5$	0,41	0,42	0,46
95°	0,39	0,45$_5$	0,40	0,37$_5$	0,38	0,42
100°	0,34	0,41	0,36	0,34	0,34	0,37$_5$
105°	0,31	0,36	0,32	0,30	0,31	0,33$_5$
110°	0,27	0,31$_5$	0,28$_5$	0,27	0,27$_5$	0,30
115°	0,24	0,27	0,25	9,24	0,24$_5$	0,26
120°	0,21$_5$	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23
125°	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20
130°	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17

In diesem Falle würden also bei 130° Beugung nur noch 17% der anfänglichen Muskelkraft wirksam sein.

Die Rotationsmomente der Muskeln für den Fall berechnet, dass die Muskelkraft proportional dem Quadrate der zunehmenden Verkürzung abnimmt.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	21		136	62	44	29
5°	22		143	66	45	33
10°	23		149	71	48	40
15°	23		152	78	51	48
20°	24		156	84	54	59
25°	24	31	158	92	60	71
30°	24	40	163	101	65	83
35°	24	48	165	110	71	95
40°	24	55	170	118	78	103
45°	24	61	176	125	82	110
50°	24	66	182	130	86	115
55°	25	72	187	134	89	118
60°	25	74	194	133	89	121
65°	25	75	198	131	88	122
70°	25	77	200	128	85	124
75°	24	77	201	123	81	119
80°	23	76	197	116	78	116
85°	22	74	193	109	73	109
90°	22	71	185	100	69	104
95°	20	67	175	93	63	98
100°	18	62	163	83	56	90
105°	17	56	146	72	50	82
110°	15	49	127	62	43	74
115°	13	42	108	53	37	64
120°	11	35	91	47	32	55
125°	9	29	76	39	27	46
130°	7	23	66	33	23	37

Die zugehörigen Curven finden sich auf Tafel V, Figur 21.

In beiden Fällen sind die zu den anfänglichen Beugegraden gehörenden Werthe für den Radialis nicht mit aufgezeichnet worden, da dieser Muskel im Anfang nicht beugend, sondern streckend wirkt, also eine Dehnung erfährt.

Die Resultate und deren Gewinnung

kurz zusammengefasst sind also folgende:

Die Arbeit behandelt die Rotationsmomente der Beugemuskeln des menschlichen Cubitalgelenkes. Die der Arbeit zu Grunde liegenden Beobachtungen wurden an vier Armen normaler männlicher Leichen gemacht, deren Zahl sich als genügend erwies, um daraus brauchbare Resultate zu gewinnen.

Das Ellbogengelenk wurde genommen:

1) Weil es ein Gelenk von *einem* Grade der Freiheit, d. h. ein zwangläufiges Gelenk ist; denn die seitlichen Bewegungen, die bei gewaltsamem Druck von aussen her am Präparate hervorgebracht werden können, kommen, wie schon früher erwähnt worden ist, jedenfalls im Leben nicht vor, wenn der Arm nur durch die eigenen Muskeln in Bewegung gesetzt wird.

2) Weil die betreffenden Muskeln, einfach im Baue, nahezu parallele Faserrichtung zeigen, die Möglichkeit brauchbarer anatomischer Querschnitte geben, die ein geometrisches Maass für die Zahl der Fasern liefern, und eine Resultante der Wirkung gewinnen lassen, was durch das Auslaufen der Muskeln in schmale Sehnen noch begünstigt wird. Es wurden diese Resultanten am Präparate bestimmt durch die Mittelpunkte des Muskelursprungs und der Muskelinsertion. Die Zugrichtung wurde durch einen nicht dehnbaren Faden gegeben. Derselbe ward am Insertionspunkte des Vorderarms befestigt und lief durch eine Oese in der Mitte des Muskelursprunges, sodass die Verkürzungen des Fadens bei den verschiedenen Beugegraden direct messbar wurden.

3) Weil über das Gelenk mit relativ so einfachen Verhältnissen noch keine brauchbaren Befunde vorliegen. Es sind nur von E. Fick die Rotationsmomente der beiden Köpfe des Biceps für die Bewegung im Ellbogengelenk gemessen worden. Die Resultate dieser Untersuchung können aber, wie in der Arbeit nachgewiesen ist, keinen Anspruch auf Brauchbarkeit machen.

Unter dem Rotationsmoment eines Muskels versteht man bekanntlich die Kraft, welche am Hebelarme 1 rechtwinklig angreifend dasselbe leistet, wie der Muskel an seinem wirklichen Hebelarme und bei seiner Zugrichtung.

Die Rotationsmomente eines Muskels könnten, zunächst unter Annahme constanter Muskelkraft, auf zwei Arten bestimmt werden.

Entweder auf rein mathematischem Wege, indem man die Coordinaten der Ansatzpunkte und der Punkte der Gelenkaxe in einem geeigneten Coordinatensysteme für jede Beugelage misst und daraus die Rotationsmomente berechnet;

oder indem man die Rotationsmomente aus den Verkürzungen der Muskeln bei der Beugung ableitet, da eine enge Beziehung zwischen den Verkürzungswerthen und den Rotationsmomenten besteht.

Der erste Weg erscheint für den Fall des Ellbogengelenkes von vorn herein nicht so brauchbar wie der zweite, da er, wenn sich die Untersuchung nicht ungeheuer compliciren und dadurch mit Fehlerquellen behaften soll, eine feste Bewegungsaxe voraussetzt, die bekanntlich nicht vorhanden ist, und da er ferner zur Voraussetzung hat, dass die Muskeln für jede Beugelage frei, d. h. in der Richtung der Verbindungslinie beider Ansatzpunkte wirken können, eine Voraussetzung, die sich z. B. am Anfang der Beugung durchaus nicht bestätigt.

Der zweite Weg ist von den Schwankungen der Axe unabhängig und verlangt nicht, dass die Muskeln überall frei wirken; er liefert daher allein genaue Resultate.

Die Beziehung, welche zwischen den Verkürzungen des Muskels und seinen Rotationsmomenten besteht, ist folgende:

Construirt man sich für einen Muskel eine Verkürzungscurve in der Weise, dass als Abscissen Strecken angenommen werden, welche durch ihre Länge die Anzahl der Beugegrade ausdrücken, und als Ordinaten die Grössen der Verkürzungen, welche der Muskel von der äussersten Strecklage bis zu der jeweiligen Beugelage eingegangen ist, und construirt man dann in jedem Punkte der Curve die Tangente an dieselbe, so ist das Rotationsmoment des Muskels für diesen Punkt der Curve proportional mit der trigonometrischen Tangente des Winkels, den diese construirte Tangente mit der Abscissenaxe bildet. Dabei ist zunächst immer die Kraft als constant vorausgesetzt, und der Querschnitt als 1 (1 qcm) angenommen.

Auf diese Weise sind folgende Resultate für die Rotationsmomente bei constanter Kraft gewonnen worden:

Sämmtliche Muskeln gewinnen das Maximum ihres Rotationsmomentes erst nachdem der Arm über 90° gebeugt ist.

Die Maxima liegen nahe an einander; gruppiren sich um circa 100° Beugung. Die Curven für die Rotationsmomente sind auf Tafel III, Figur 11 niedergelegt (ausgezogene Curven).

Daraus erklärt sich die grosse Tragfähigkeit des hakenförmig gebeugten Armes gegenüber geringeren Beugungsgraden.

Wären die Querschnitte gleich gross, so würde der Supinator bei weitem die grössten Rotationsmomente zeigen, darauf Biceps, Brachialis, Radialis und Pronator teres.

Berücksichtigt man aber die Querschnitte der Muskeln, so hat die weitaus grössten Rotationsmomente der Brachialis, darauf folgen: Supinator und langer Kopf des Biceps, darauf Radialis und kurzer Kopf des Biceps, endlich der Pronator teres. Man vergleiche hierbei Tafel V, Figur 17.

Der Radialis externus ist anfangs Streckmuskel, während alle andern gleich mit einem positiven Rotationsmoment bei der Beugung beginnen, was dadurch hervorgerufen wird, dass sie über die Rolle laufen, deren Halbmesser an der betreffenden Stelle als Hebelarm für den Muskel functionirt.

Der Pronator hat sowohl am Anfange wie im ganzen Verlaufe der Beugung ein nur geringes Rotationsmoment in Folge der Nähe seines Ursprunges an der Axe.

Da nun die Kraft des Muskels bei zunehmender Verkürzung abnimmt, so werden allerdings die Rotationsmomente nicht in der Weise zunehmen, wie es geschehen würde, wenn die Kraft constant bliebe. Man vergleiche hierzu Tafel V, Figur 20 und 21. Dadurch wird eine grössere Stetigkeit ihrer Wirkung erzielt, die sich im Leben daran erkennen lässt, dass nicht wie am Präparate ein Zug des Muskels eine ruckweise Bewegung hervorbringt, sondern die Beugung mehr gleichmässig von statten geht.

Ein Vergleich der gewonnenen Resultate mit denen eines idealen Falles, bei welchem die Gelenkaxe im Ellbogengelenk fest ist und die Beugemuskeln alle in Ebenen wirken, die senkrecht zu dieser festen Gelenkaxe stehen, zeigte nur für den Anfang der

Beugung bemerkenswerthe Differenzen (Tafel III), so dass man mit grosser Annäherung diesen idealen Fall an Stelle des wirklichen setzen kann. Man hat dadurch erreicht, die ganzen Verhältnisse am Ellbogengelenk in mathematische Formeln zu zwingen.

Nimmt man an, dass die Muskelkraft proportional der Länge des Muskels abnimmt, so hat man als Gleichung des Rotationsmoments M eines jeden Beugemuskels:

$$M = P_0 \cdot q \left(1 - \frac{10}{17 v_1} V\right) \cdot \frac{dV}{d\omega} .$$

Dabei ist

$$V = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2 e_1 e_2 \cos \varepsilon} - \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2 e_1 e_2 \cos (\omega + \varepsilon)}$$

und folglich

$$\frac{dV}{d\omega} = \frac{e_1 e_2 \sin (\omega + \varepsilon)}{\sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2 e_1 e_2 \cos (\omega + \varepsilon)}} ,$$

oder mit Rücksicht auf die bequemere logarithmische Berechnung:

$$V = (e_1 + e_2) \left\{ \frac{\cos \frac{\varepsilon}{2}}{\cos \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{e_2 - e_1}{e_2 + e_1} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right) \right]} - \frac{\cos \frac{\omega + \varepsilon}{2}}{\cos \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{e_2 - e_1}{e_2 + e_1} \operatorname{tg} \frac{\omega + \varepsilon}{2} \right) \right]} \right\}$$

und

$$\frac{dV}{d\omega} = e_1 \cdot \sin \left[\frac{\omega + \varepsilon}{2} + \operatorname{arctang} \left(\frac{e_2 - e_1}{e_2 + e_1} \operatorname{tang} \frac{\omega + \varepsilon}{2} \right) \right] ;$$

P_0, q, v_1, e_1, e_2, ε sind Constante, nämlich:

P_0 die Anfangskraft des Muskels.

q der Querschnitt des Muskels.

v_1 die grösste im Organismus vorkommende Verkürzung des Muskels.

e_1 der kleinere } der beiden Abstände der Muskelansatzpunkte
e_2 der grössere } von der Bewegungsaxe.

ε der Winkel, um den in der einen oder anderen Richtung die kürzesten Verbindungslinien der Muskelansatzpunkte mit der Gelenkaxe von der gestreckten Lage zu einander in der äussersten Streckstellung des Vorderarms abweichen; ε soll dabei als negativ gerechnet werden, wenn diese beiden Linien anfangs einen Winkel über 180° mit einander bilden, sonst positiv.

Sollte sich dagegen herausstellen, dass die Abnahme der Muskelkraft proportional den Quadraten der Länge des Muskels abnimmt, was den HERMANN'schen Resultaten entsprechen würde, so wäre die Gleichung für das Rotationsmoment:

$$M = P_0 \cdot q \cdot \left(1 - \frac{10}{17 v_1} V\right)^2 \cdot \frac{dV}{d\omega} .$$

Drückt sich die Abhängigkeit der Muskelkraft von der Grösse der Verkürzung weder genau durch die Gleichung $P = P_0 \left(1 - \frac{10}{17 v_1} V\right)$, noch durch die Gleichung $P = P_0 \left(1 - \frac{10}{17 v_1} V\right)^2$, sondern durch eine, vorläufig noch nicht empirisch gefundene Gleichung $P = P_0 \cdot \varphi(V)$ aus, so lautet dann die Gleichung für das Rotationsmoment:

$$M = P_0 \cdot q \cdot \varphi(V) \cdot \frac{dV}{d\omega} .$$

Es ist Aufgabe der *Physiologie*, die Function $\varphi(V)$ experimentell genauer zu bestimmen als bisher.

Für den Werth von ω, dem das Maximum des Rotationsmomentes zufällt, ergiebt sich daraus als Bestimmungsgleichung die Differentialgleichung:

$$\varphi(V) \cdot \frac{d^2 V}{d\omega^2} + \varphi'(V) \cdot \left(\frac{dV}{d\omega}\right)^2 = 0 .$$

Alle Betrachtungen über die Rotationsmomente von Muskeln, welche an einem Gelenk von 1 Grad der Freiheit wirken, lassen sich ohne Weiteres auf Muskeln anwenden, die Gelenke von mehreren Graden der Freiheit bewegen. Es ist dabei nur noch der Winkel in Betracht zu ziehen, unter dem die Zugrichtung des Muskels in jedem Falle zur jeweilig angenommenen Bewegungsebene geneigt ist. Die Kraft P des Muskels multiplicirt sich dann jedesmal mit dem Cosinus dieses Winkels, da sie immer nur mit der Componente zur Wirkung kommt, welche in der Bewegungsebene liegt.

Am Schlusse soll nochmals ausdrücklich betont werden, dass wir bei der vorliegenden Untersuchung nur die Wirkung der Muskeln auf das eine Gelenk, nämlich das Cubitalgelenk untersucht haben, trotzdem dass hier zum grossen Theil mehrgelenkige Muskeln mit in

Betracht kommen mussten; denn alle Muskeln ausser dem Brachialis internus sind mehrgelenkig. Wir waren deshalb gezwungen, gewisse schon oben beschriebene Beschränkungen einzuführen. Sie bestanden darin, dass für die Muskeln, die zugleich Rotatoren des Radius sind, der Radius in seiner Normalstellung, nämlich der mittleren Pronationsstellung, fest mit der Ulna verbunden wurde; dass ferner für den Biceps das Humero-Scapulargelenk und für den Radialis das Handgelenk ausgeschlossen wurde, wie oben beschrieben worden ist.

Nachträgliche Bemerkungen und Druckfehlerverzeichniss.

Die Tabellen auf pag. 60 und pag. 62 beziehen sich auf den Fall, dass die Anfangskraft P_0 die Stärke von 1 Kilogramm besitzt.

Auf pag. 7 Z. 11 v. o. ist zwischen »1 mm und dasselbe« einzuschalten: rechtwinklig angreifend.

Es ist zu lesen auf:

pag. 3 Z. 7 v. o. statt »für die Bewegung zur Beugung«: im Anfang für die Beugung.

pag. 9 Z. 3 v. u. statt »ablolut«: absolut.

pag. 40 Z. 2 v. o. statt »$2e_2[2e_2 \cdot \cos^2$ etc.«: $2e_2[2e_1 \cos^2$ etc.

pag. 41 Z. 3 v. o. statt »π«: $\frac{\pi}{2}$.

pag. 49 Z. 1 v. o. statt »genommen«: gewonnen.

Die Rotationsmomente der sechs Muskeln für den Fall, dass die Muskelkraft proportional mit der Länge des Muskels abnimmt.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	21		136	62	44	29
5°	22		144	66	46	34
10°	23		152	72	49	40
15°	24		157	80	52	48
20°	25		162	87	57	60
25°	26	31	169	97	63	74
30°	26	41	176	108	70	88
35°	27	49	182	119	77	100
40°	27	57	190	131	86	111
45°	28	64,5	199	141	93	121
50°	29	72	209	151	99	129
55°	30	79	223	160	105	137
60°	31	83	235	165	109	143
65°	32	87	247	167	110	148
70°	33	92	258	167	111	152
75°	34	96	264	167	111	155
80°	34	99	270	166	110	156
85°	33	100	276	162	109	155
90°	33	100	279	157	107	153
95°	33	99	277	151	103	151
100°	32	96	271	142	98	146
105°	30	93	259	132	90	141
110°	28	87	238	120	83	134
115°	26	81	215	108	75	125
120°	23	73	195	98	69	115
125°	20	65	177	89	62	102
130°	17,5	56	159	79	55	89

Die zugehörigen Curven finden sich auf Tafel V, Figur 20.

Nach Untersuchungen von L. Hermann (Pflüger's Archiv der Physiologie, IV. Jahrgang, Bonn 1871, pag. 195) nimmt dagegen, wie Hermann zwar nicht ausdrücklich bemerkt hat, wie sich aber durch Rechnung aus seinen Resultaten ableiten lässt, die Muskelkraft nahezu proportional dem Quadrate der Länge ab, so dass also im Anfange die Abnahme am stärksten ist. Bei dieser Annahme würde sich die Gleichung für P nur in der Weise ändern, dass der Factor $(1 - \frac{10}{17 v_1} V)$ im Quadrat auftritt, so dass man hat:

$$P = P_0 (1 - \frac{10}{17 v_1} V)^2 .$$

Es würden sich dann die Rotationsmomente mit dem Factor $\left(1 - \frac{10}{17 r_1} V^2\right)$ multipliciren, die Allgemeingültigkeit der Hermann'schen Resultate vorausgesetzt.

Auch für diesen Fall sind die einzelnen Werthe des Factors $\left(1 - \frac{10}{17 r_1} V^2\right)$ für alle sechs Muskeln berechnet und daraus die Rotationsmomente abgeleitet worden. Die Resultate sind in folgenden beiden Tabellen (pag. 61 und 62) niedergelegt worden.

Die Werthe des Factors $\left(1 - \frac{10}{17 r_1} V^2\right)$.

Beugung	Pronator teres	Radialis ext. long.	Brachialis internus	Biceps, langer Kopf	Biceps, kurzer Kopf	Supinator longus
0°	1	1	1	1	1	1
5°	0,97		0,98	0,98	0,98	0,99
10°	0,95		0,96	0,96$_5$	0,96$_5$	0,98
15°	0,92		0,93	0,95	0,94$_5$	0,97
20°	0,89		0,91	0,92$_5$	0,92$_5$	0,95$_5$
25°	0,86$_5$	0,99	0,88	0,90	0,90	0,93$_5$
30°	0,83	0,98	0,86	0,88	0,88	0,91
35°	0,80	0,95$_5$	0,83	0,85	0,85	0,89
40°	0,77	0,93	0,80$_5$	0,81$_5$	0,82	0,86
45°	0,74	0,90	0,78	0,78	0,78$_5$	0,83
50°	0,71	0,86	0,75	0,74	0,75	0,79
55°	0,68	0,83	0,71	0,70	0,71	0,75
60°	0,64	0,78$_5$	0,68	0,66	0,67	0,71$_5$
65°	0,60$_5$	0,74	0,64	0,62	0,63	0,67$_5$
70°	0,57	0,70	0,60	0,58	0,59	0,63
75°	0,53	0,67	0,57	0,54	0,54	0,59
80°	0,49	0,60	0,53	0,49$_5$	0,50	0,55
85°	0,45	0,55	0,49	0,45$_5$	0,46	0,50
90°	0,42	0,50$_5$	0,44$_5$	0,41	0,42	0,46
95°	0,39	0,45$_5$	0,40	0,37$_5$	0,38	0,42
100°	0,34	0,41	0,36	0,34	0,34	0,37$_5$
105°	0,31	0,36	0,32	0,30	0,31	0,33$_5$
110°	0,27	0,31$_5$	0,28$_5$	0,27	0,27$_5$	0,30
115°	0,24	0,27	0,25	9,24	0,24$_5$	0,26
120°	0,21$_5$	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23
125°	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20
130°	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17

In diesem Falle würden also bei 130° Beugung nur noch 17% der anfänglichen Muskelkraft wirksam sein.

Die Curven der Rotationsmomente der Beugemuskeln

die Muskelkraft während der Beugung constant g

Fig. 7.

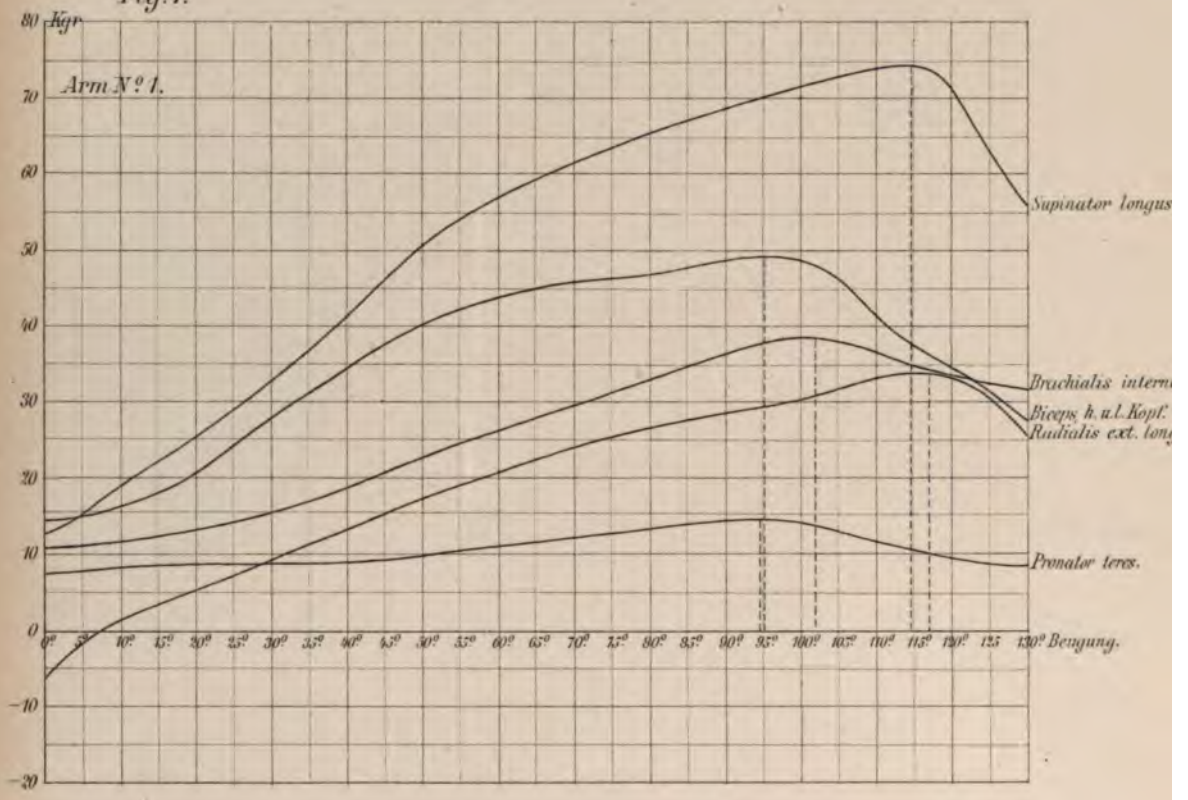
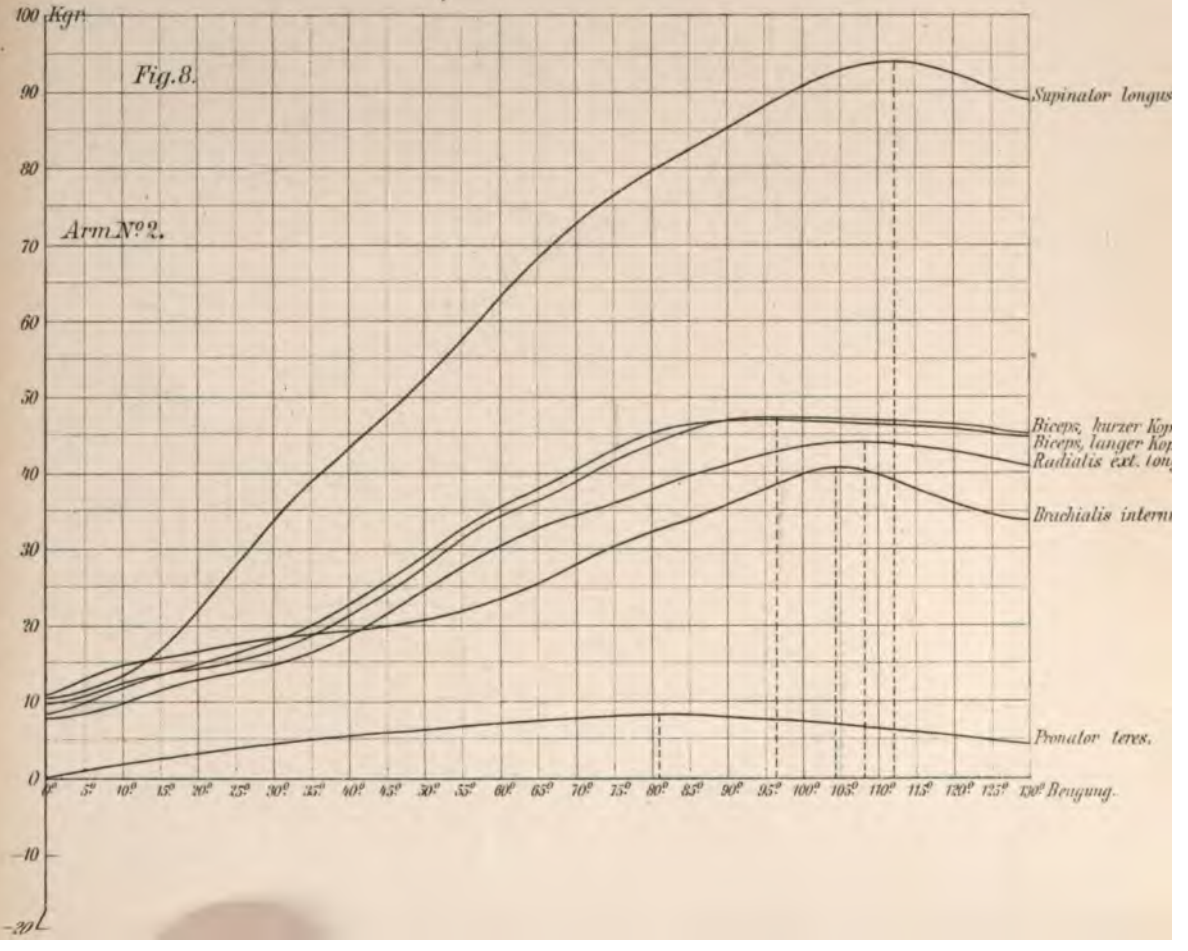


Fig. 8.



ogengelenks für die Einheit des Querschnittes (1 □ cm.),

: für den Querschnitt von 1 □ cm. angenommen.

Fig. 9.

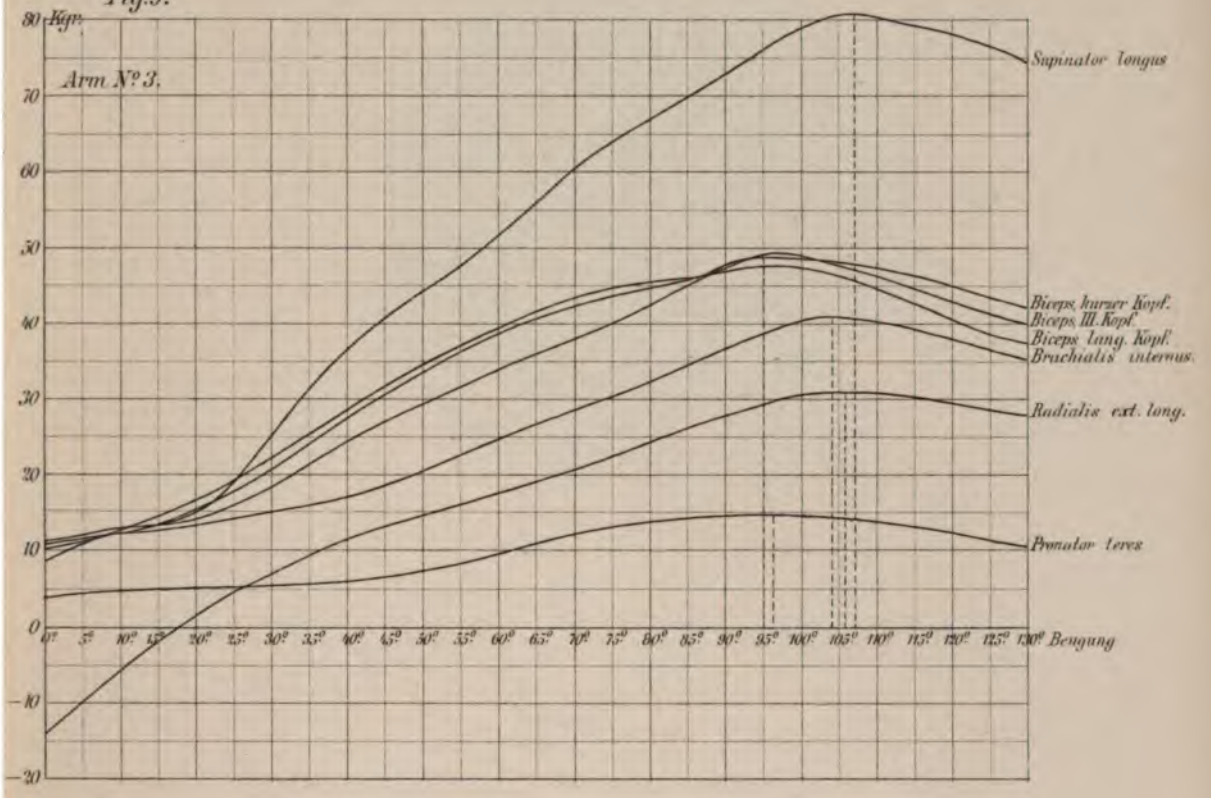
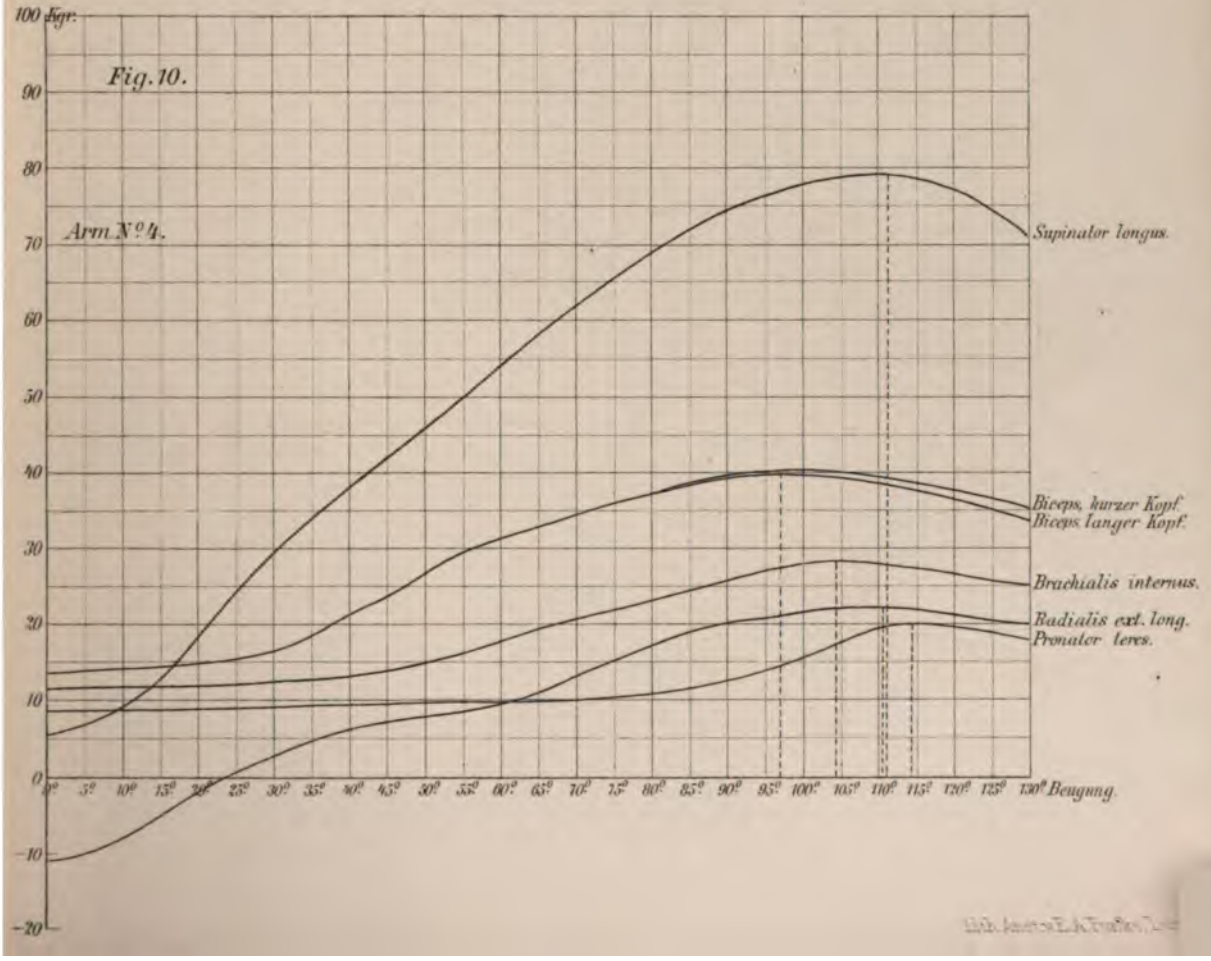


Fig. 10.



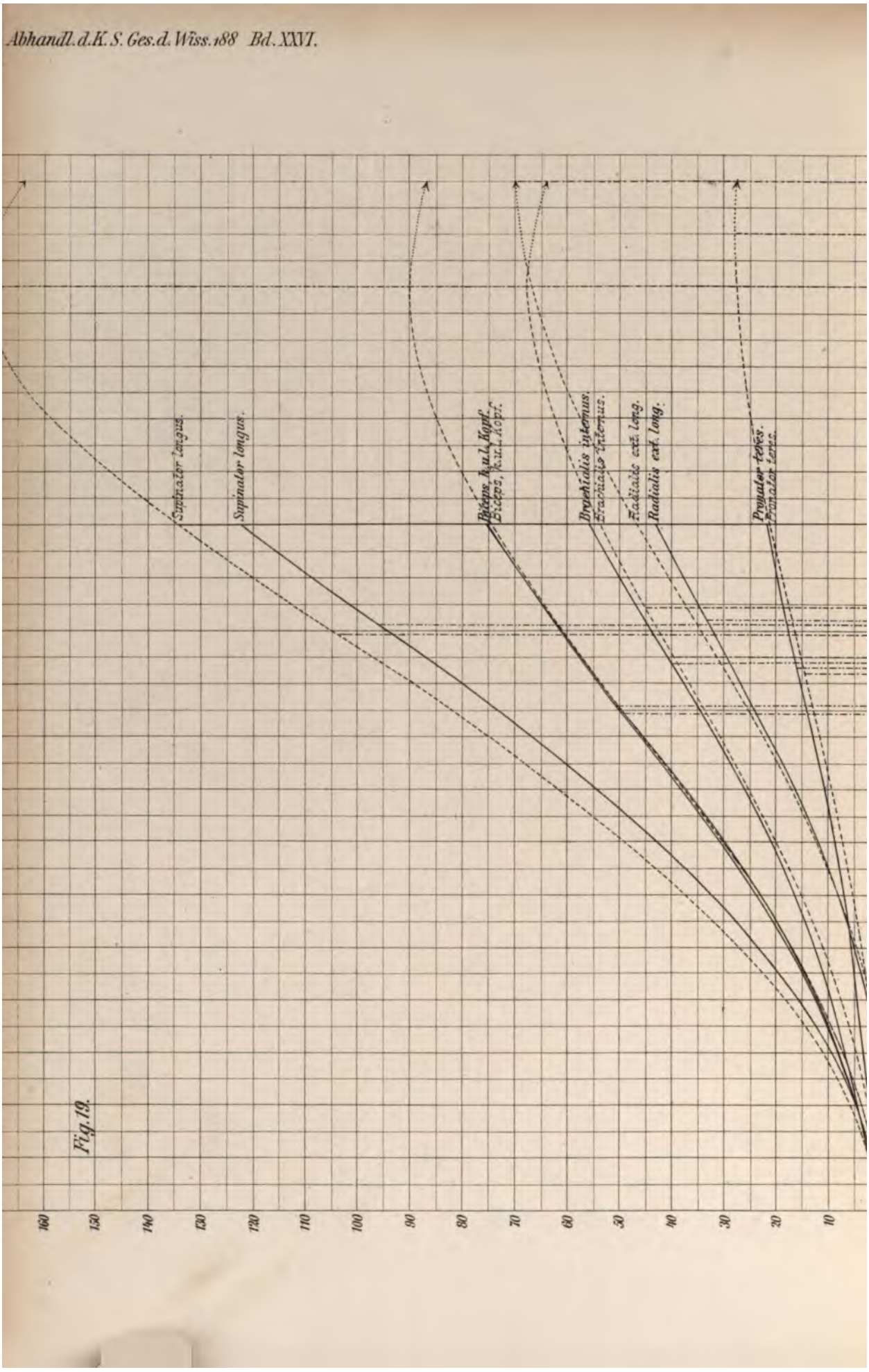
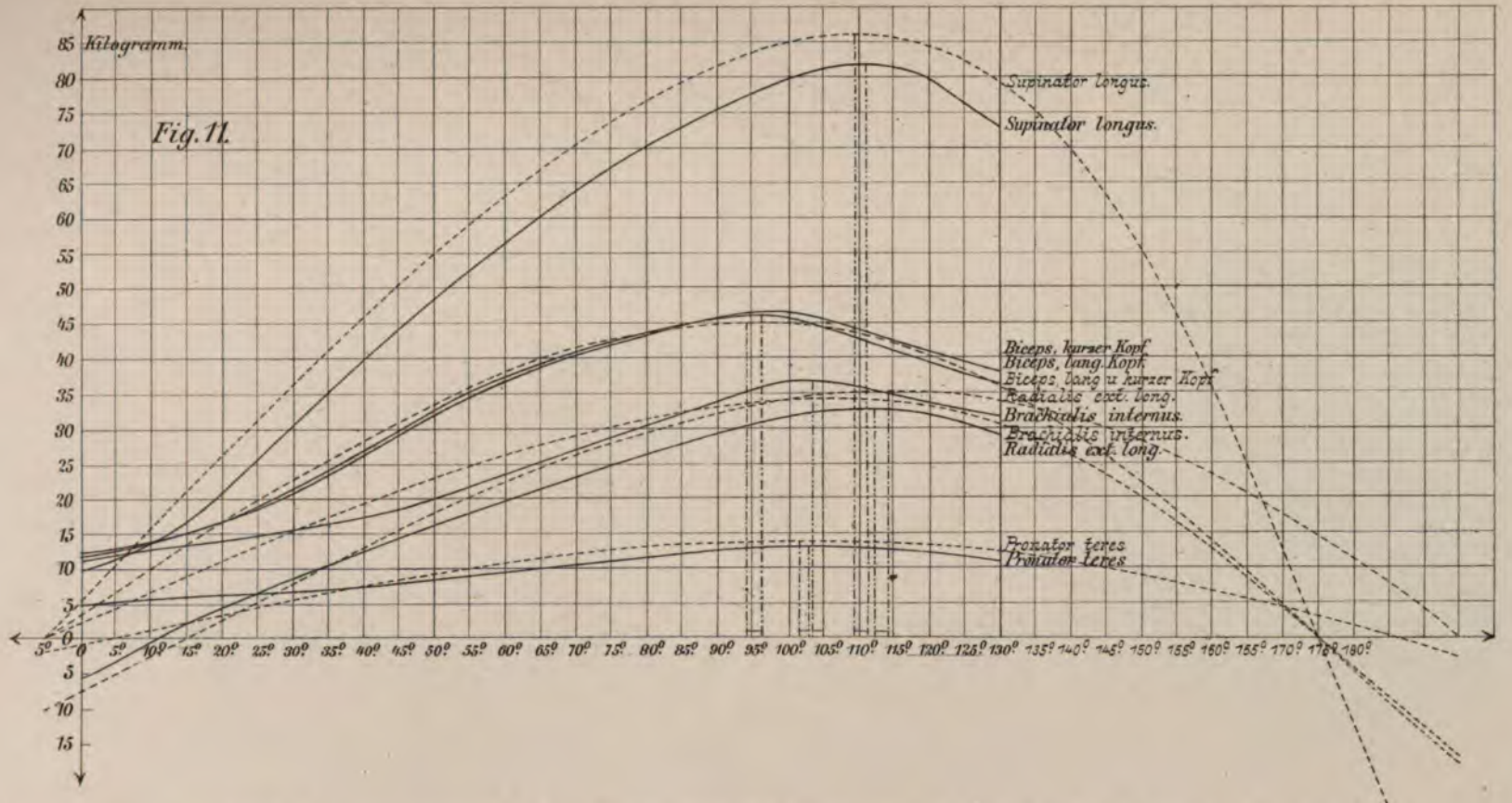

Supinator longus.
Supinator longus.
Biceps br. d. Kopf.
Biceps, K. d. Kopf.
Brachialis internus.
Brachialis internus.
Radialis ext. long.
Radialis ext. long.
Pronator teres.
Pronator teres.
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

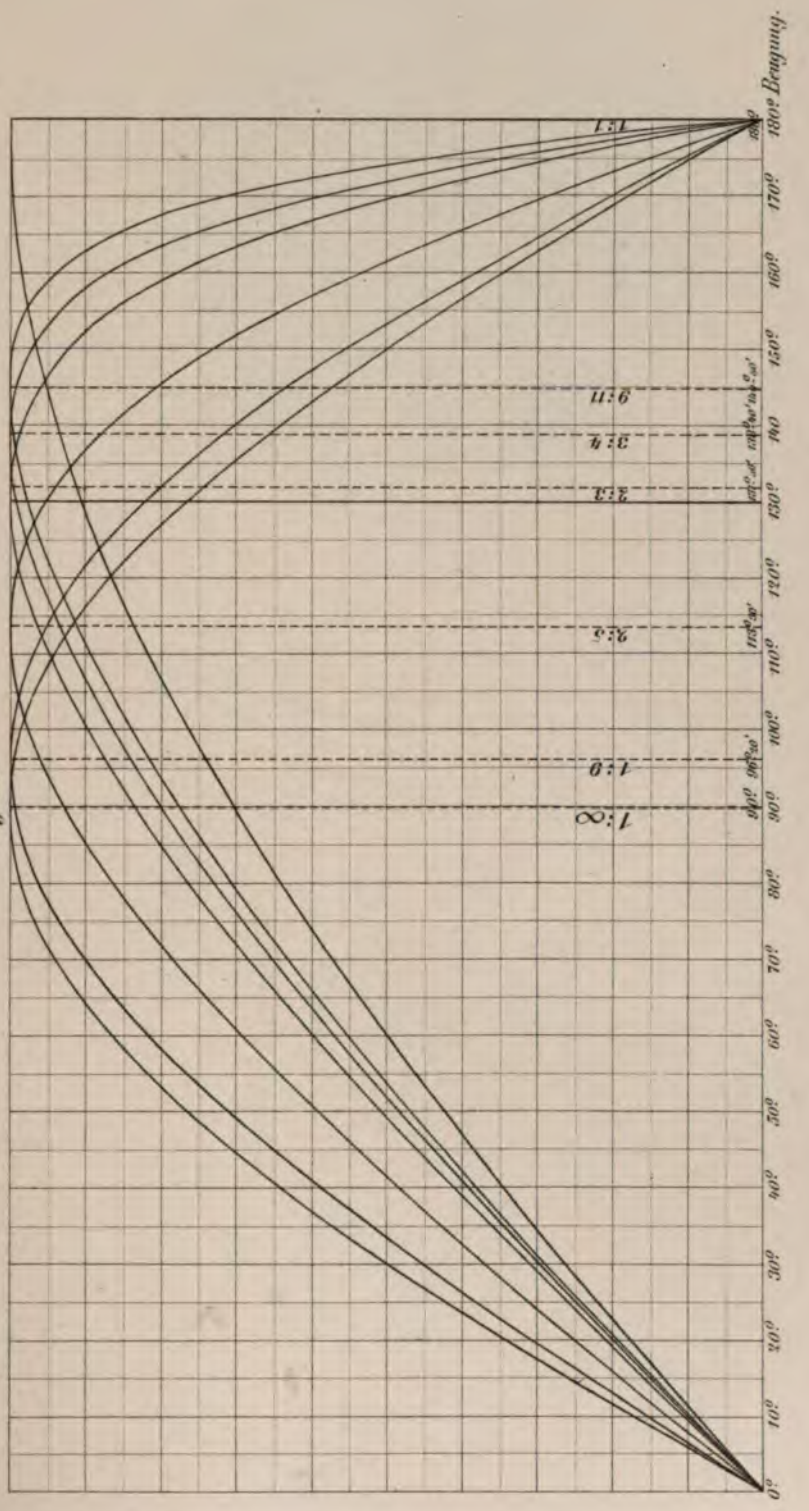
Fig. 19.



Die Verkürzungscurven (Fig. 19), die Curven der Rotationsmomente der Muskeln für P = 1 Kgr. und q = 1 □ cm. (Fig. 11.) (——) und die entsprechenden Curven des idealen Falles einer festen Bewegungsaxe zu der alle Muskeln senkrecht wirken. (------)

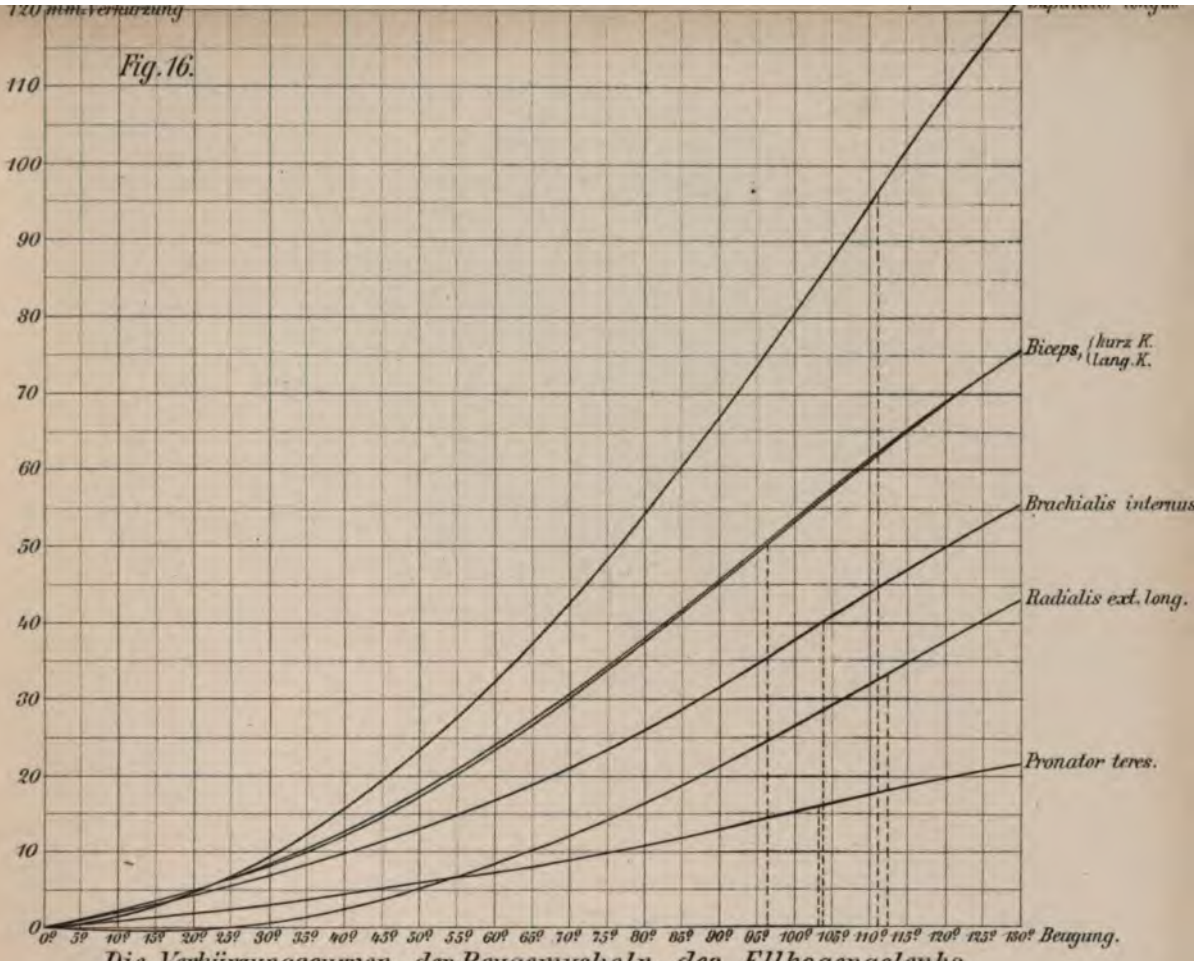
Lith. Anst. v. E. A. Funke

Fig. 15.

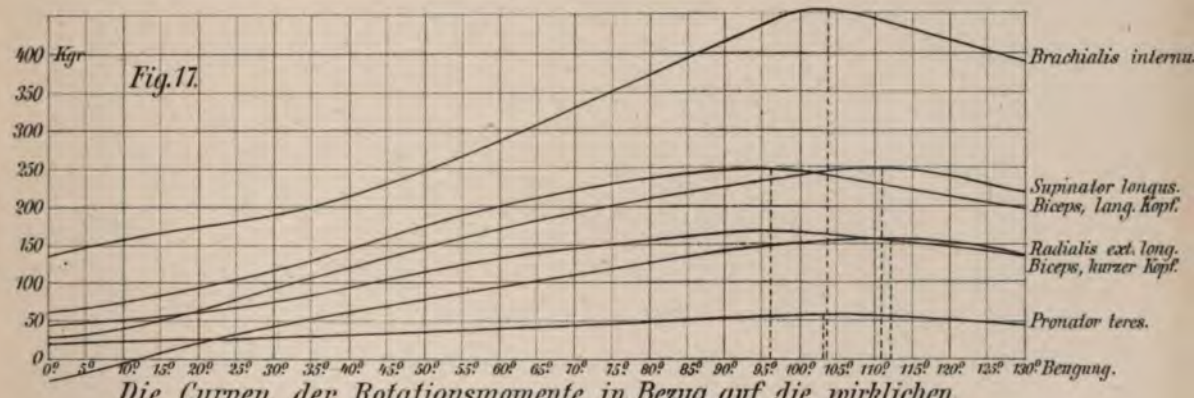


Darstellung der Abhängigkeit der Lage des Maximums der Rotationsmomente von dem Werth des Verhältnisses $e_1 : e_2$.

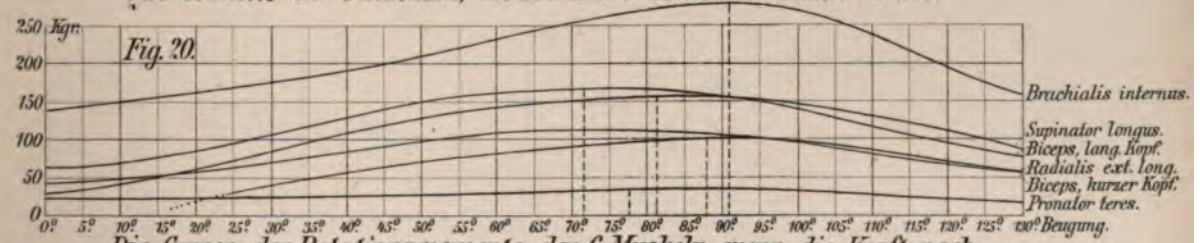
Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.



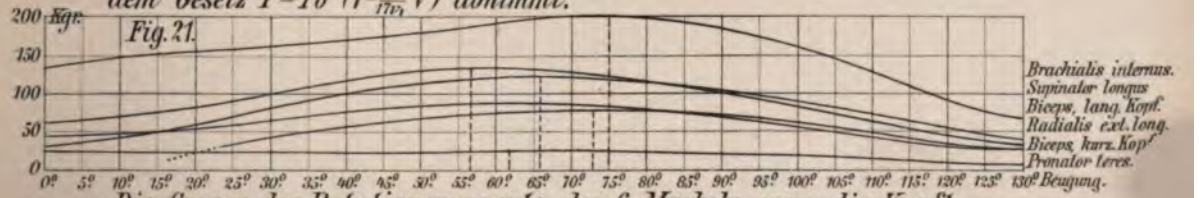
Die Verkürzungscurven der Beugemuskeln des Ellbogengelenks.



Die Curven der Rotationsmomente in Bezug auf die wirklichen Querschnitte der 6 Muskeln, bei Annahme constanter Muskelkraft.



Die Curven der Rotationsmomente der 6 Muskeln, wenn die Kraft nach dem Gesetz $P - Po\,(1 - \frac{10}{17 r_1} V)$ *abnimmt.*



Die Curven der Rotationsmomente der 6 Muskeln, wenn die Kraft nach dem Gesetz $P - Po\,(1 - \frac{10}{17 r_1} V)^2$ *abnimmt.*

Lith. Anst. v. E. A. Funke.

DIE

NEUROBLASTEN

UND DEREN

ENTSTEHUNG IM EMBRYONALEN MARK

VON

WILHELM HIS,

MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° IV.

MIT VIER TAFELN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL

1889.

Vorgetragen in der Sitzung vom 14. November 1888.
Das Manuscript übergeben am 22. Januar 1889.
Der Abdruck vollendet den 23. Februar 1889.

DIE

NEUROBLASTEN

UND DEREN

ENTSTEHUNG IM EMBRYONALEN MARKE

VON

WILHELM HIS.

HIERZU VIER TAFELN.

Die Arbeiten über die Entwickelung des Gehirns, mit denen ich seit geraumer Zeit beschäftigt bin, haben mich dahin geführt, dem Studium der histologischen Elemente des embryonalen Markrohres eine erneute Aufmerksamkeit zuzuwenden. Ueber das frühe Auftreten einer Spongiosa (Myelospongium), sowie über die in Nervenfasern sich verlängernden Zellen der Mantelschicht habe ich bei mehreren früheren Anlässen berichtet, zuletzt im Jahrgang 1887 des anatomischen Archivs[1]). Weniger eingehend hatte ich mich bis dahin mit jenen Elementen beschäftigt, welche laut Altmann's weitgreifender Entdeckung der Sitz lebhafter Theilungserscheinungen sind, den Zellen, welche der Innenfläche des Markrohres zunächst liegen. Die besondere Aufmerksamkeit, welche diesen Elementen von anderer Seite her zugewendet worden war, schien mir eine fernere Bearbeitung derselben überflüssig zu machen. Es ist das, wie ich schliesslich erkannt habe, eine unrichtige Voraussetzung gewesen. Gerade diese Elemente bieten den eigentlichen Schlüssel für das Verständniss der ersten Nervenbildung, und wenn die früheren Beobachter das Verhältniss übersehen konnten, so war das nur deshalb möglich, weil sie allzu ausschliesslich dem Studium der Kernfiguren sich hingegeben und darob dasjenige des Protoplasmaleibes vernachlässigt haben[2]).

---

1) No. 1—4.

2) Man vergl. insbesondere die eingehene Monographie von Merk »die Mitosen im Centralnervensystem«. Wien 1887. Ein sehr gelegentlicher Hinweis auf die pyramidenförmige Gestalt der »Epithelzellen« und ihrer Abkömmlinge findet sich für das Gehirn des Froschlarven auf S. 12 des angegebenen Werkes. Dabei wird auch auf die Angabe von Harms Bezug genommen, welcher bei Ammocoetes den Uebergang von Epithelzellen in den Kern des Acustico-facialis constatirt hat.

Der Kürze halber werde ich die gerüstbildenden Zellen als Spongioblasten, die nervenbildenden als Neuroblasten und diejenigen des Mitosengebietes als Keimzellen bezeichnen[1]).

Mein Studium über die verschiedenen Zellenformen des embryonalen Marks habe ich bei menschlichen Embryonen der 4. und 5. Woche begonnen, und die hiebei gewonnenen Ergebnisse werde ich bei meiner Darstellung in den Vordergrund stellen. Ich kenne in der That kein anderes Material, welches nach den verschiedenen Richtungen hin gleich klare Bilder gewährt, wie dieses. Im weiteren Verlauf der Arbeit habe ich die Untersuchung auf Repräsentanten der verschiedenen Wirbelthierklassen ausgedehnt. Die Hauptschwierigkeit einer histologischen Analyse des embryonalen Markes liegt in der dichten Zusammenlagerung seiner Elemente, es bedarf daher sehr feiner Schnitte, um die Zellenleiber einzeln und freiliegend zu Gesicht zu bekommen.

Keimzellen.

Eine dünne Haut, die M. limitans interna, begrenzt die Innenfläche des Markrohres, sie nimmt die sich ausbreitenden inneren Enden der Gerüstzellen in sich auf, und im Verein mit diesen begrenzt sie ein System von rundlichen Buchten, die Lagerstätten der Keimzellen (Fig. 1 und 2). Nach einwärts pflegt somit jede Keimzelle an die M. limitans zu stossen, ringsherum ist sie von radiären Stützfasern umgeben, nach auswärts von ihr liegen mehr oder minder dichte Gruppen von Kernen, die theilweise Spongioblasten, theils auch den in Bildung begriffenen Neuroblasten angehören. Von der

1) Das Wort Spongioblast ist m. W. von W. Müller zuerst gebraucht worden, von dem auch der Ausdruck Neurospongium stammt (Nr. 6, S. L). Allerdings fasst Müller die beiden Begriffe in einem etwas engen Sinn; sein Neurospongium entspricht nur der sog. granulirten Substanz der Retina und des Gehirns, die Spongioblasten einem Theil der Zellen der inneren Körnerschicht. Das Neurospongium soll nach Müller eine von den Spongioblasten ausgeschiedene Intercellularsubstanz sein. Als allgemeine Bezeichnung für das Stützgewebe der Retina und der Centralorgane schlägt Müller das Wort Fulcrum vor, seine Spongioblasten sind sonach eine besondere Form von Fulcrumzellen.

Den Ausdruck »Keimzellen« habe ich im Anschluss an Merk's Bezeichnung einer »Keimschicht« (germinativen Schicht) gewählt.

Regel des Anliegens an der M. limitans macht die kleine Zahl jener Keimzellen eine Ausnahme, welche durch Nachbarzellen in die Tiefe gedrängt worden sind[1]). Die Gesammtmenge der Keimzellen ist beim menschlichen Embryo zu Ende der 4. Woche sehr bedeutend, sie bilden stellenweise eine beinahe geschlossene Schicht. Später nehmen sie an Menge ab und die von ihnen bis dahin eingenommenen Buchten erscheinen nunmehr frei von Einlagerungen.

Die typischen Keimzellen sind kuglig oder von leicht ovaler Gestalt, ein breiter heller Protoplasmaleib umgiebt ihren Kern, und durch die helle Beschaffenheit ihres Leibes pflegen sich dieselben von ihrer Umgebung bestimmt abzuheben. Mit starken Systemen unterscheide ich an den Keimzellen eine blasskörnige Endoplasmaschicht von einer körnerfreien Ectoplasmalage (Fig. 3). Einigemal bin ich auch solchen Keimzellen begegnet, welche beim Schneiden aus ihrer Lage gekommen und über die Innenfläche der Grenzhaut frei hervor getreten waren. Die kleineren Keimzellen messen beim menschlichen Embryo 10—11, die grösseren 13—14 μ. Jene enthalten Kerne von 4—5 μ, in diesen finden sich solche von $6\frac{1}{2}$—8 μ. Einzelne Keimzellen haben Kerne mit ruhendem Charakter, in ihnen bildet der Kern ein abgeschlossenes glattes Oval mit dicker Chromatinhülle und anliegenden Chromatinkörnern[2]). Die Keimzellennatur auch dieser Elemente geht aus ihrer Lage an der Innenfläche der M. limitans und aus ihrer runden Form hervor. In der Mehrzahl der Keimzellen entbehren die Kerne des abgeschlossenen Charakters ruhender Formen, und sie stellen sich als anscheinend unregelmässige Anhäufungen grober Chromatinkörner dar. Genauer betrachtet

---

1) Beim menschlichen Embryo ist mir ein tieferes Hereinragen von Zellen mit Mitosen in die äusseren Schichten der Wand nicht begegnet, wohl aber bei anderen Wirbelthieren. Nachdem dieser Punkt durch Merk eine erschöpfende Bearbeitung erfahren hat, brauche ich darauf nicht weiter einzutreten. Ich constatire nur auch meinerseits, dass die Anlagerung der Zellen mit Mitosen an die Innenwand des Medullarrohres die Regel bildet.

2) Unter meinen menschlichen Präparaten ist eines (Embryo *T*), welches nach Richtung der Erhaltung ziemlich vorwurfsfrei ist. Der etwa vierwöchentliche Embryo war aus dem Uterus einer lebenden Frau herausgekratzt, mir sofort überbracht und in Rabl'scher Flüssigkeit (Platinchlorid und Pikrinsäure) fixirt worden. Leidlich erhalten, wenn auch nicht ohne jegliche Veränderung der Chromatinmassen, sind die Embryonen *R* und Br_3.

handelt es sich dabei um kurze dicke Stäbchen, die mehr oder minder deutlich eine strahlige Anordnung zeigen (Fig. 3), einzelne derselben sind auch gebogen und documentiren dadurch ihren Charakter als Schleifen[1]). Häufig begegnet man der Form der Doppelsterne. Ein eingehendes Studium der vorkommenden Kernformen liegt nicht im Plan dieser Arbeit.

Neuroblasten.

Ueber das Verhalten der Neuroblasten gewinnt man durchaus klare und überzeugende Bilder in der Zeit, da die ersten motorischen Wurzelfasern eben aufgetreten sind, und da die Mantelschicht begonnen hat, sich von der Innenplatte zu sondern. Die Zellen, welche ihre Axenfasern als motorische nach aussen entsenden, und diejenigen, deren Fasern im Innern des Rohres verbleiben, besitzen dieselben Eigenschaften und sie zeigen in früher Zeit auch keine bemerkbaren Grössenunterschiede. Ein ovaler Kern, 9 bis 11 μ lang, 4½ bis 5½ μ breit, trägt an dem einen Ende einen conischen Zellenleib, welcher sich seinerseits in eine lange, von parallelen Rändern eingefasste Faser, den Axencylinder, fortsetzt (Fig. 4). Sowohl der Ansatzkegel der Faser als diese selber zeigen an guten Präparaten eine deutliche Längsstreifung, und diese setzt sich eine Strecke weit über die Aussenfläche des Kernes fort. Der Kern ausgebildeter Neuroblasten ist mässig chromatinreich, und die in seinem Innern zerstreut liegenden Körner sind unter einander durch ein zartes Fadennetz verbunden. Von verzweigten Ausläufern des Zellenleibes ist keine Spur zu erkennen, die Protoplasmaschicht, welche den Kern umhüllt, ist so dünn, dass sie in einem grossen Theil ihrer Ausdehnung gar nicht selbstständig zur Anschauung kommt und es den Anschein gewinnt, als ob der Kern dem Ansatzkegel der Faser frei anliege. Das frühere und spätere Vorhandensein einer allseitigen Umhüllung nöthigt zur Annahme, dass eine allgemeine Protoplasmahülle auch jetzt vorhanden ist.

In der eben beschriebenen Weise finden sich die Neuroblasten

---

1) Flemming bespricht in seinen Neuen Beiträgen (im Archiv f. mikr. Anat., Bd. 29, S. 443) Mitosen mit auffallend kurzen Segmenten und theilt (Taf. XXV) einige Figuren mit, welche an die von mir gesehenen Bilder erinnern.

in der Mehrzahl meiner älteren Figuren dargestellt[1]), indessen habe ich auch einen Holzschnitt publicirt[2]), welcher einen unregelmässig contourirten Saum rings um den Kern eines motorischen Neuroblasten herumgehen lässt. Es ist diese Figur nach einer das Rückenmark frei überragenden Zelle gezeichnet, wobei allerdings im Holzschnitte die Umgrenzung sehr viel härter herausgekommen ist, als im Original. Nachdem ich seitdem an zahlreichen untadelhaften Präparaten, sowohl von menschlichen als von thierischen Markröhren, ein gleiches Verhalten nicht habe wiederfinden können, muss ich annehmen, dass der anscheinende Protoplasmaleib jenes Präparates als eine blos zufällige Auflagerung zu verstehen ist. Ich habe neuerdings das Präparat mit den besten Linsen wieder geprüft, ohne sehr entscheidende Anschauungen gewonnen zu haben. Es liegt dem Kern eine unregelmässige Schicht einer blasskörnigen Masse von wenig charakteristischem Verhalten an, die ebenso gut zum Zellenleib gehören kann, als nicht. Nach meinen erweiterten Erfahrungen muss ich als Regel aufstellen, dass bei jugendlichen Neuroblasten der grössere Theil des Kerns von einer glatten und unmessbaren dünnen Protoplasmahülle umgeben ist.

Die Neuroblasten legen sich vielfach zu Gruppen an einander, der Art, dass die von ihnen abgehenden Wurzelfasern gemeinsame Bündel bilden. Hiebei zeigt jede Gruppe einen conischen Anschluss an das von ihr abgehende Faserbündel, und dies Verhalten ist bezeichnend genug, um schon bei mässiger Vergrösserung die Neuroblastengruppe daran zu erkennen (Fig. 5). Wie ich schon bei früherem Anlasse hervorhob[3]), so können die Spitzen solcher Gruppen nahe an den Rand des Markrohres heran, ja mit einzelnen ihrer Zellen sogar über das Aussengerüst des letzteren hinaustreten, eine Anordnung, der man allerdings nur auf jungen Entwickelungsstufen begegnet. Figur 6 zeigt dies Hervortreten der Spitze vom motorischen Trigeminuskern von Embryo Br_3. Hier erscheint der Randschleier durch die äussersten Zellengruppen wie durch einen Keil auseinander gedrängt.

1) So besonders in Fig. 4 des Aufsatzes vom Jahre 1883 (No. 1, Taf. V) und in der Tafel von der 1886 erschienenen Schrift über die Bildung des Rückenmarks (No. 2).

2) No. 2, S. 487 und No. 4, S. 470, Fig. 3.

3) No. 3, S. 362.

Die Bildung der Neuroblasten und die Uebergangszellen.

Bei Anlass einer Kritik der Bidder'schen Lehre von der Nervenbildung bemerkt Hensen: »noch hat Niemand bis jetzt das frei auswachsende Ende eines Nerven gesehen«[1]). Die Forderung, dass man solche Enden soll sehen können, ist gerechtfertigt, sie lässt sich aber in der That auch erfüllen, unter der Voraussetzung, dass man mit der Beobachtung an der richtigen Stelle einsetzt. Die Neuroblasten entstehen in der innersten Schicht des Markrohres aus den hier vorhandenen Keimzellen, und von da aus gehen sie secundär in äussere Schichten der Wand über.

Von den Forschern, welche sich in neuerer Zeit mit dem Studium der Markentwickelung beschäftigt haben, sind wohl Alle zur bestimmten Kenntniss der Thatsache gekommen, dass von einem gewissen Zeitpunkt ab eine innere dichter gefügte Zellenschicht von einer äusseren mehr aufgelockerten sich unterscheiden lässt. Auch haben mehrere von den Beobachtern wahrgenommen, dass die erstere von den beiden Schichten an Breite und an Zahl der Elemente immer mehr abnimmt, während für die letztere das Umgekehrte gilt. Es ist nicht allzuleicht zu erkennen, wie die einzelnen Forscher dies Verhalten gedeutet haben, denn die darauf bezüglichen Angaben sind grossentheils ziemlich unbestimmt formulirt.

Kölliker stellt in seiner Entwickelungsgeschichte vom Jahr 1879[2]) folgende Grundsätze auf: »Das Mark besteht nach der Schliessung der Rückenfurche aus einem Kanal, dessen Wandungen von ganz gleichartigen radiär gestellten Zellen gebildet werden. In zweiter Linie bildet sich in dieser Wand eine Scheidung in zwei Lagen, von denen die äussere zur grauen Substanz sich gestaltet, während die innere als Auskleidung des Centralkanals erscheint.« Im Grundriss vom Jahr 1884[3]) wird dies noch etwas specieller dahin präcisirt, dass von den beiden sich sondernden Schichten die innere ihren

1) No. 7, S. 372.
2) No. 8, S. 591.
3) No. 9, S. 262.

Charakter beibehält, während in der äusseren, zur grauen Substanz werdenden die Zellen mehr rundliche Gestalt annehmen.

Auf Hensen's Darstellung werde ich unten zurückkommen. Gierke[1]) schildert das embryonale Rückenmark als aus vielen Schichten länglich elliptischer oder spindelförmiger Zellen bestehend, deren äussere Fortsätze bis zum Rand des Markes reichen. Im weiteren Verlauf der Entwickelung verwandeln sich die äusseren Zellen und es gehen Ganglienzellen und Neurogliazellen aus ihnen hervor. Je mehr die Entwickelung fortschreitet, um so mehr verschmälert sich die Schicht, indem die Umwandlung von Aussen nach Innen fortschreitet, bis zuletzt nur noch eine Lage, das Epithel des Centralkanals übrig bleibt.

Mit einem nicht unangemessenen Ausdruck bezeichnet Merk[2]) das äussere von den beiden Zellenlagern als die gereifte Zone. Dieselbe wird aus der inneren oder germinativen Zone abgeleitet, und zwar sieht Merk das Wesen des Markwachsthums in einer Grössenzunahme der constituirenden Elemente, der Ganglienzellen sowohl, als der Zwischensubstanz.

Zwischen den Anlagen von Ganglien- und von Stützzellen machen die wenigsten Autoren eine scharfe Unterscheidung. Gierke sagt ausdrücklich, dass bei jüngeren Embryonen alle Zellen einander gleich sind und kein Merkmal die einen zu Nerven-, die anderen zu Gliazellen stempelt[3]), und Vignal in seiner ausführlichen Arbeit über die Entwickelung des Rückenmarkes bei Säugethieren betont wiederholt[4]), dass die Elemente, die zu Nervenzellen und die zu Neurogliazellen werden, von einander nicht unterscheidbar sind. Auch erklärt Vignal die Vorstellung für unannehmbar, dass die proliferirenden Zellen aus der Umgebung des Centralkanales, sei es durch Wanderung

---

1) No. 10, S. 499.

2) No. 5, S. 16.

3) No. 5, S. 496. In der sonst so sorgfältigen Arbeit von Gierke ist der entwickelungsgeschichtliche Abschnitt jedenfalls der schwächste. Das Mark soll Anfangs nur aus rundlichen Bildungszellen bestehen. In der weissen Substanz sollen sich die zuerst gleichartigen Zellen in abwechselnde Streifen ordnen, von denen die einen zu rundlichen polygonalen Stützzellen werden, die anderen zu länglichen Gebilden, welche Anfangs noch richtige Zellen sind, und nachträglich zu Fasern auswachsen. Es ist mir unverständlich, auf welchen Anschauungen diese Darstellung von Gierke sich aufbaut.

4) No. 11, S. 206 und 216.

sei es durch Verdrängung in die äusseren Schichten übertreten und er zieht es vor zu glauben, dass innerhalb der grauen Substanz auf irgend einem noch unbekannten Wege eine Vermehrung der Zellen vor sich gehe.

Für eine primitive Trennung der nervösen von den bindegewebigen Anlagen ist Boll sehr entschieden eingetreten[1]), aber die Schärfe seines Beweises steht mit der Schärfe seiner Behauptung in keinem richtigen Verhältniss, und vor Allem ist seine Untersuchungsmethodik eine sehr unvollkommene gewesen. Boll hat die Hemisphärensubstanz von Hühnchen des 3. und 4. Tages frisch untersucht, und innerhalb eines homogenen ungegliederten Protoplasmas zweierlei Kerne gesehen: die einen sollen bestimmt sein, zukünftigen Nervenzellen, die anderen Bindesubstanzzellen anzugehören. Diese Unterscheidung der Kernformen in früheren Perioden ist jedenfalls sehr misslich, um so mehr, da es sich herausstellt, dass derselbe Kern im Lauf der Entwickelung sein Aussehen mehrfach und in erheblicher Weise ändert. Aus Boll's Zeichnungen kann man nicht entnehmen, aus welchen Schichten die dargestellten Elemente stammen und wie dieselben zu deuten sind[2]).

Meine eigenen bis dahin publicirten Darstellungen legen ein besonderes Gewicht auf das frühe, der eigentlichen Nervenbildung vorausgehende Auftreten eines Markgerüstes und auf dessen Bedeutung für die Ausbreitung der entstehenden Nervenfasern. Auch habe ich m. W. zuerst die Jugendstufen der Neuroblasten in ihrer charakteristischen Form kennen gelehrt. Die beiden Zellenschichten der Markwandung hatte ich als Innenplatte und als Mantelschicht bezeichnet und in die letztere die Anfangsbildung von Nervenfasern verlegt. Durch successive Abspaltungen von der Innenplatte liess ich die Mantelschicht allmählich breiter werden, indem an die zuerst nur schmale aber durch die Bogenschicht scharf abgegrenzte primäre Mantelschicht sich später secundäre Mantelschichten mit unbestimmterer Umgrenzung anschliessen sollten. Meine neueren Beobachtungen erlauben mir nun, eine bestimmtere, und hinsichtlich der

1) Boll No. 12, S. 106.

2) Man vergl. auch die Kritik, welche Hensen sowohl, als Gierke an Boll's Angaben ausgeübt haben No. 7, S. 381 und No. 10, S. 503.

Ableitung der Mantelschicht, auch eine correctere Darstellung von der Bildungsweise der einzelnen Markbestandtheile zu geben.

Unter den Elementen der Keimschicht befinden sich manche, welche durch die längliche Form ihres Kerns (bez. ihrer Chromatinmassen) von den typischen Keimzellen abweichen. Dieselben pflegen schmaler zu sein, als die letzteren, und ich hatte mich lange dabei beruhigt, sie als Producte eben abgelaufener Zelltheilung anzusehen. Letztere Voraussetzung trifft wohl auch meistens ohne Weiteres zu; eine genauere Prüfung der betreffenden Elemente ergiebt aber weiterhin, dass solche Zellen, vom regelmässigen Oval abweichend, nach auswärts in eine bald kürzere, bald längere Spitze auslaufen (Fig. 7 und 8). Dabei besitzen die Zellen noch einen den Kern rings umgebenden hellen Protoplasmaleib. Neben diesen Keimzellen mit beginnender Zuspitzung finden sich andere, bei welchen die Veränderung weiter fortgeschritten ist, Zellen von Keulenform, welche nach der äusseren Seite hin in eine längere schmale Faser sich fortsetzen (Fig. 9). Insoweit diese Elemente die Zwischenglieder zwischen Keimzellen und Neuroblasten bilden, kann man sie als Uebergangszellen bezeichnen. Ihre Eigenschaften sind zum Theil recht charakteristisch und von denen der Keimzellen, wie von denen der Neuroblasten gleich unterscheidbar: sie haben mit den Keimzellen das noch unfertige Gefüge des Kerns und die Lage in der inneren Wandschicht gemein, mit den Neuroblasten das Vorhandensein eines längeren fadenförmigen Fortsatzes. Noch ist ihr Kern ringsherum von einem nachweisbaren, wenn auch schmalen Protoplasmamantel umgeben.

Auf einer folgenden Stufe finden wir Zellen angelangt, welche von dem M. limitans bereits abgerückt sind, und deren Kern nunmehr abgeschlossen erscheint (Fig. 11). Der Protoplasmamantel, welcher die innere Hälfte des Kerns umgiebt, ist sehr dünn geworden. Die Masse des Zellenleibes beschränkt sich auf das kegelförmige Zwischenstück zwischen Kern und abgehender Faser. So sehr sich diese Zellen den fertigen Neuroblasten in ihrem Charakter nähern, so bestehen doch noch merkliche Unterschiede zwischen beiderlei Kernen, ihre Kerne sind noch erheblich chromatinreicher, mit einer dicken Kapsel und einem groben Kernkörper versehen. Auch ist bei diesen Uebergangszellen der Protoplasmakegel auffallend empfänglich für Farbstoff, ein Verhalten, das bei den reifen Neuroblasten

nicht wiederkehrt, während es sich bei den Uebergangszellen der vorangegangenen Stufe vorbereitet fand.

Wir können sonach folgende Reihenfolge von Formen unterscheiden:

1) Keimzellen von runder Form mit breitem Protoplasmamantel.

2) Keimzellen mit beginnender Zuspitzung und breitem Protoplasmamantel.

3) Uebergangszellen von Birnenform, mit schmaler werdendem Saum um den noch unfertigen Kern, sie können der M. limitans noch anliegen, und setzen sich nach auswärts in eine längere Faser fort.

4) Uebergangszellen von Birnenform mit abgeschlossenem Kern, sehr dünnem inneren Protoplasmamantel und stark tingirbarem äusserem Ansatzkegel.

5) Reife Neuroblasten mit blassem Kern und Zellenleib.

Solange der Kern nicht abgeschlossen ist, lässt sich über seine Form kein scharfes Urtheil abgeben, auf den Stufen 2 und 3 sind die Gruppen von Chromatinbestandtheilen etwas gestreckt und mehr oder minder unregelmässig gestaltet. Die Kerne von den Zellen der 4. Gruppe zeigen meistens eine eigenthümliche Zuspitzung. Ihr äusseres Ende geht mit einer conischen Verlängerung in das Ansatzstück der Faser hinein, als ob es an deren Bildung betheiligt wäre. Die starke Tingirbarkeit des Ansatzstückes kann bei oberflächlicher Betrachtung den Anschein erwecken, als ob der Kern selber in die Faser übergehe, indessen ist dies nicht der Fall, der Kern endigt scharf umgrenzt am Eingang der letzteren. Der früher erwähnte Embryo *T* hat mir für die Tingirbarkeit des Ansatzkegel besonders deutliche Anschauungen gewährt, allein ich habe auch bei anderen Wirbelthieren und besonders deutlich bei der Forelle dasselbe Verhalten wiedergefunden. Bei manchen Uebergangszellen ist übrigens der Kern nicht nur zugespitzt, sondern gleichzeitig nicht unerheblich verschmälert und in die Länge gezogen (Fig. 10). Diese verschiedenen Umgestaltungen des Kerns sind vorübergehender Natur; am reifen Neuroblasten bildet derselbe wieder ein regelmässiges Ellipsoid. Es handelt sich dabei, wie ich annehmen muss, um temporäre Druckerscheinungen, die auf die Contractionen des umgebenden Protoplasmaleibes zurückzuführen sind.

Das Wesen der Neuroblastenbildung besteht der obigen Darstellung

zufolge der Hauptsache nach darin, dass der ursprünglich breite Protoplasmamantel einer kugligen oder ovalen Keimzelle nach einer bestimmten Seite hin ausströmt und sich zu einem langen Faden mit conischem Ansatzstück, dem Axenfortsatz umbildet. Dieselben activen Vorgänge im Zellprotoplasma, welche die Formveränderung der ursprünglichen Keimzelle und die Faserbildung bedingen, enthalten meiner Ueberzeugung nach auch den Grund für die Ortsveränderung der betreffenden Elemente. Die Anfangs dicht unter der M. limitans liegenden Zellen wandern nach aussen und die ersten derselben sammeln sich als primäre Mantelschicht jenseits der übrigen Zellen an. Für den activen Charakter der Ortsveränderung spricht die Natur des Zellenleibes und dessen nachweislich erfolgende tiefgreifende Umgestaltung. Ueberdies aber sind andere Bedingungen der Ortsveränderung ausgeschlossen, denn an eine einfache Verschiebung der Zellen durch Wachsthumsdruck der Nachbartheile kann nicht gedacht werden. Nach vollendeter Ortsveränderung der umgewandelten Keimzellen erscheinen deren Fächer leer (Fig. 11 und Fig. 16) und vielfach (so besonders in der Medulla oblongata) treten die Neuroblasten in Gebiete ein, die unmöglich als Orte geringsten Wachsthumsdruckes können gedeutet werden. Wie sich im Einzelnen der Wanderungsvorgang vollzieht, das wird solange etwas unsicher bleiben, bis es gelingt, ihn an einem geeigneten Material direct zu beobachten. Am wahrscheinlichsten scheint es mir, dass die Verschiebungen des Protoplasmas, welche der Nervenbildung zu Grunde liegen, mit gewissen rythmischen Schwankungen vor sich gehen, ähnlich den bei Theilung der Kernschleifen beobachteten, und dass dabei der nach aussen vorgedrungene Theil des Zellenleibes den Kern jeweilen nach sich herzieht.

Es hat mir früher viel zu denken gegeben, dass die motorischen Fasern, wenn sie einmal da sind, sofort eine gewisse Länge besitzen. Den dorsalen Ast von Rumpfnerven sieht man gegen den Urwirbel vordringen, und der ventrale erreicht frühzeitig die hintere Grenze der Leibeshöhle. Dies weist darauf hin, dass das Anfangswachsthum der Axencylinder ein rasches sein muss, während doch späterhin die Längenzunahme der Fasern nur langsam fortschreitet. Dieses bisherige Räthsel löst sich durch den Vergleich der Keimzellen mit den Neuroblasten. Der zuerst sich bildende Faserantheil entsteht,

wie wir gesehen haben, aus einem zuvor aufgespeicherten Protoplasmavorrath, während die spätere Längenzunahme nur auf Kosten von neu angesammeltem Material vor sich gehen kann.

Es ist von Interesse, wenigstens annähernde Zahlenwerthe des zur ersten Faserbildung disponibeln Materiales zu berechnen. Setzen wir den mittleren Durchmesser einer Keimzelle auf 14 μ an, den des Kernes auf 5 μ, so ergiebt sich als

das Volum der Gesammtzelle . . . . . 697 cub.μ
- - des Kernes . . . . . 65 -
- - - Zellenleibes ohne den Kern 632 -

Die Breite eines Axencylinders beträgt (mit einem Nadelzirkel am Projectionsbilde des Zeichnungsprismas gemessen) ca. 0,9 μ. Aus obigen 632 cub.μ Protoplasma würde demnach eine Faser von rund 250 μ Länge gebildet werden können. Bei Embryo *R* beträgt der Abstand von der Austrittsstelle der vorderen Wurzeln zur Grenze der Leibeshöhle rund 200 μ, so dass bei Annahme obiger Unterlagen die Rechnung ziemlich gut stimmt. Es hat keinen Zweck, die Fehlerquellen der Berechnung im Einzelnen zu discutiren, denn die Annäherung kann vor Allem schon deshalb nur eine sehr grobe sein, weil die Messungen nicht am frischen Material, sondern an dem durch Reagentien und durch Paraffineinguss eingeschrumpften vorgenommen werden konnten. Soviel ist aber jedenfalls ersichtlich, dass dass das im Protoplasmaleib der Keimzelle angehäufte Material genügt, um eine in die Leibeswand tief hereinreichende Faser zu liefern.

Günstige Bilder über werdende und über fertige Neuroblasten sind natürlich nur an solchen Schnitten zu erwarten, deren Richtung mit der Ebene der Faserentwickelung zusammenfällt. An solchen günstigen Schnitten gewinnt man eine Anschauung von der grossen Menge der in Bildung begriffenen Neuroblasten. Stellenweise hat es den Anschein, als ob sämmtliche Zellen der Seitenwand in der Umbildung zu Nervenzellen begriffen wären, indem die vorhandenen Spongioblasten hinter den Uebergangszellen an Menge sehr zurücktreten (Fig. 11). Besonders geeignet für solche Beobachtungen erweist sich die Stufe, da die Neuroblasten die Birnenform mit dunkler Spitze besitzen, weil zu der Zeit eine jede Zelle schon bei mässiger Vergrösserung ein sehr charakteristisches Bild gewährt. Es sind diese Bilder deshalb wichtig, weil sie ein indirectes Urtheil

über die zahlreichen, anscheinend nackten Kerne gewähren, die man an etwas weiter fortgeschrittenen Markröhren der 6. und 7. Woche zwischen den unzweifelhaften Neuro- und Spongioblasten zerstreut findet. Diese Elemente, denen ich eine Zeit lang glaubte, eine besondere Stellung anweisen zu müssen, bin ich nunmehr geneigt, durchweg als quer und schräg getroffene Neuroblasten anzusehen, mit denen sie den, allerdings nur negativen Charakter der Protoplasmaarmuth gemein haben.

Weniger entschieden möchte ich mich über die Frage aussprechen, ob alle Zellen späterer Generation nothwendig einen Axencylinder entwickeln, oder ob auch verkümmerte Bildungen vorkommen, die nur verzweigte Ausläufer treiben. Erfahrene Hirnanatomen wie z. B. Forel sind für die Existenz solcher abortiver Nervenzellen eingetreten[1]) und ich halte die Frage für einer eingehenden Untersuchung bedürftig.

Der Prozess der Neuroblastenbildung erinnert in manchen Punkten an den der Spermatozoenbildung. Hier, wie dort, ist der einleitende Vorgang eine lebhafte Karyokinese mit nachfolgender Zelltheilung. Hier, wie dort, kommt es an den neugebildeten Zellen zu einer Umlagerung des Protoplasmas: die den Kern Anfangs gleichmässig umgebende Schicht verschiebt sich nach einer Seite, der Kern bleibt infolge dessen nur noch mit seinem einen Ende der Protoplasmamasse verbunden, während sein anderes Ende anscheinend frei die Zelle überragt. Bei beiden Vorgängen findet während des Ablaufes der Formumbildung eine Lageveränderung statt und zwar verschieben sich beidemal die Zellen in der Richtung des entstehenden Protoplasmafortsatzes. Eine fernere Uebereinstimmung zwischen Samenkanälchen und embryonalem Markrohr besteht darin, dass nur ein Theil der vorhandenen Zellen zur Bildung specifischer Elemente Verwendung findet, während andere zu einem verzweigten Stützgerüst sich entwickeln.

Die Vergleichung der sehr übersichtlich geordneten Abbildungen Benda's[2]) und die Angaben seines Textes lassen vermuthen, dass die Aehnlichkeiten zwischen Spermatozoen- und Neuroblastenbildung noch

1) Forel No. 13, S. 2.

2) Benda No. 14, Taf. 5 u. ff.

weiter gehen. An jenen Figuren fällt auf, dass die äussersten Zellen ein helles Protoplasma haben, die Samenbildner ein dunkles. Es ist dies ein Gegensatz, der zwischen den Keimzellen und Uebergangszellen des Markrohres wiederkehrt. Da wo die Keimzellen ruhende Kerne haben, da ist, wie wir oben hörten, das Chromatin in scheinbarer Körnerform der Wandschicht angelagert, und auch hiefür bieten einige Abbildungen Benda's eine unmittelbare Parallele (Taf. V, Fig. 1). Bei den Samenbildnern Benda's ist das Chromatin fast ganz und gar in die Kernhülle übergegangen, so dass kein Gerüst, sondern nur ein grösserer Kernkörper im Innern vorhanden bleibt, ein Bild, das sich bei den Uebergangszellen des Markrohres wiederfindet. Asymmetrien in der Kerngestalt vor Beginn der Protoplasmaumlagerung finden sich bei Samen- und bei Nervenbildnern, und endlich zeigen die Fusszellen der Samenkanälchen in ähnlicher Weise einen streifigen Bau, wie die Gerüstzellen des Markrohres.

Diesen mehr oder minder durchgreifenden Uebereinstimmungen zwischen dem Inhalt der Samenkanälchen und der Markröhre stehen nun allerdings auch manche nicht unwesentliche Differenzen gegenüber. Ein Hauptgegensatz besteht darin, dass bei der Samenfadenbildung der Faden ein Product des Kernes sein, und das Protoplasma zu Grunde gehen soll (Kölliker, Biondi, Benda u. A.), wogegen bei der Bildung der Nervenfasern das Protoplasma das eigentliche Hauptmaterial liefert.

Spongioblasten.

Es wird weiterhin der Nachweis geführt werden, dass die Spongioblasten aus dem ursprünglich einschichtigen Epithellager der Medullarplatte hervorgehen. Solange der Epithelcharakter noch ausgesprochen ist, lassen sich an Durchschnitten zwei kernfreie Zonen, eine äusserste und eine innerste und eine die Kerne enthaltende Mittelzone unterscheiden. Letztere nimmt im Laufe der Entwickelung an Breite erheblich zu; Anfangs höchstens 2zeilig, wird sie in der Folge 6—8zeilig. Der Gegensatz zweier kernfreier Randzonen und einer kernhaltigen Mittelzone erhält sich an den Epithel- und an den aus ihnen hervorgehenden Spongioblastenlagen dauernd, mit der Beschränkung allerdings, dass in der inneren Zone die Keim-

zellen eingebettet sind. In vollem Sinn gilt somit die Bezeichnung kernlos für die innere Zone nur da, wo keine Keimzellen vorhanden sind. Des Aussehens halber, das die beiden Randzonen im weiteren Verlauf annehmen, werde ich die innere als Säulenschicht, die äusseren als Randschleier bezeichnen.

Die Breite beider Schichten wechselt im Lauf der Entwickelung. Der Randschleier, welcher, wie wir sehen werden, das Lager für die Entwickelung der weissen Substanz bildet, nimmt im Allgemeinen an Breite stetig zu, wogegen die Breite der Säulenschicht auf verschiedenen Stufen an denselben Stellen wechselt. Eine besondere Rolle spielt dieselbe beim Schluss des Centralkanales. Die kernhaltige Mittelzone ist durch geraume Zeit hindurch die breiteste von den drei Zonen, sie umfasst die Anlage der grauen Substanz und in ihr vollzieht sich, nachdem es einmal zur Bildung der ersten Neuroblasten gekommen ist, jene Abscheidung von einer Mantelschicht und einer Bogenschicht, die ich in früheren Aufsätzen beschrieben habe.

Bei der mehrfachen Schichtung der Epithelkerne ergiebt sich naturgemäss, dass die Leiber der aus den Epithelzellen hervorgehenden Spongioblasten durch verschiedene Tiefen sich vertheilen. Wir können innere, mittlere und äussere Spongioblastenlagen unterscheiden, wobei allerdings an eine strenge Trennung derselben nicht zu denken ist. In den inneren und mittleren Lagen sind die Spongioblasten alle radiär gerichtet. Dies gilt im Allgemeinen auch für die äussere Lage, indessen können sich hier vereinzelte Zellenleiber auch quer oder schräg stellen.

Jeder Spongioblast entsendet zwei Hauptausläufer, einen äusseren und einen inneren, zu denen noch einzelne seitwärts gerichtete Nebenausläufer hinzukommen können. Die inneren Ausläufer erreichen nach kürzerem oder längerem Verlauf die innere Grenzhaut nnd verbinden sich mit dieser. Der genaue Charakter dieser inneren Ausläufer ist nicht leicht festzustellen; ich habe dieselben in meinen früheren Aufsätzen als ungetheilt und relativ breit beschrieben und eine fibrilläre Streifung an ihnen hervorgehoben. Dies ist in der That das Bild, das alle meine älteren Präparate von ihnen gewähren und ich theile Fig. 12 noch einmal eine möglichst sorgfältig aufge-

nommene Zeichnung dieser inneren Spongioblastenpfeiler nach einem Präparate vom Embryo Br_3 mit. Hier sieht man von je einem Spongioblasten einen Fortsatz abgehen, welcher erst in der unmittelbaren Nähe der M. limitans sich verbreitert und in diese einfügt. Die Endverbreiterung macht nun allerdings den Eindruck von einem Auseinanderweichen verschiedener Fäden, zwischen denen eine trübe Ausfüllungsmasse vorhanden ist. Vielfach treten Fortsätze aus tieferen Lagen an höher liegende Spongioblasten heran und schmiegen sich diesen so genau an, dass sich ihre weiteren Fortsetzungen wie Fortsätze der letzteren ausnehmen. Einzelne Kerne sieht man nach einwärts von 3—4 Fortsätzen überragt, von denen indessen nur einer von der Zelle selber abzuleiten ist, die übrigen aus tieferen Schichten heraufgetreten sind. Quere Verbindungen der inneren Ausläufer vermag ich an diesen Präparaten auch jetzt nicht zu sehen.

Mit diesem und ähnlichen Präparaten stehen die Schnitte in einem gewissen Widerspruch, die ich von dem oben erwähnten besonders frisch eingelegten Embryo *T* erhalten habe (Fig. 13). Hier treten die inneren Spongioblastenfortsätze schon in einiger Entfernung von der M. limitans in Zweige auseinander, die dann ihrerseits wieder unter dichotomischer Spaltung in die M. limitans übergehen. Von demselben Embryo *T* besitze ich auch einige Flachschnitte der frontal getroffenen Bodenplatte. Dieselben gewähren zunächst eine sehr klare Anschauung von den Beziehungen der Spongioblasten zur inneren Grenzhaut. Jeder von den inneren Fortsätzen zertheilt sich bei seiner Annäherung an die Haut in ein System feiner Zweigchen, die unter einander zu einem engmaschigen Netz sich verbinden (Fig. 14), dieses Netz ist eben die M. limitans interna. Schnitte durch die Kernzone zeigen gröbere Netze, in deren Knotenpunkten die Kerne liegen (Fig. 15). Isolirt durchschnittene Pfeiler, wie man sie nach den Profilansichten der Säulenschicht erwarten sollte, vermag ich in keinem Falle zu finden. Ich entnehme daraus, dass, falls die inneren Zellenfortsätze keine queren Verbindungen eingehen, der Anschein des Netzes dadurch entsteht, dass sich die im Allgemeinen blattartig gestalteten Fortsätze bei ihrem Aufsteigen schräg an einander legen. Für das Verständniss dieser Bilder in ihren Beziehungen zu einander scheint mir unter Anderen die Frage von Bedeutung zu sein, ob man es zur Zeit noch mit activ beweglichen

protoplasmatischen Substanzen oder mit starren Fäden zu thun hat. Ist ersteres der Fall, so wird es auch verständlich, dass die verschieden behandelten Präparate Bilder liefern, die unter sich nicht durchweg übereinstimmen. Uebrigens darf ich nicht unterlassen, hervorzuheben, dass die Schnitte von Embryo *T*, anlässlich ihrer Färbung mit Kernschwarz, mit einer Lösung von kohlensaurem Lithion behandelt worden sind, einem Reagens, welches das klare Hervortreten der Gerüstfasern begünstigt haben mag.

Die äusseren Fortsätze der Spongioblasten, zuweilen schon mit getrennten Aesten entspringend, theilen sich in ihrem weiteren Verlauf und gehen unter einander einzelne quere Verbindungen ein. Solche Verbindungen werden auch durch die vom Zellenleib abgehenden Seitenausläufer vermittelt. Immerhin bleibt innerhalb der eigentlichen Kernzone das Maschenwerk der Ausläufer noch ein sehr loses, und erst an der Grenze der Zone ändert sich der Charakter, indem sich nun ein System von queren Verbindungsbrücken zwischen den bisherigen Radiärfasern ausbreitet, dadurch eine Art von Grenzmarke bildend. Jenseits davon folgt das Gebiet des eigentlichen Randschleiers mit seinem dichteren Gefüge und dem ausgesprochenen netzförmigen Charakter. Die Hauptbestandtheile des Randschleiers sind zahlreiche blattartig geformte Radiärbälkchen, die an ihren äusseren Enden verbreitert zu sein pflegen, und die unter einander durch kurze Quersprossen zusammenhängen. Je jünger die Entwickelungsstufe, um so schmaler ist der Randschleier, und um so dichter sein Gefüge. In vorgerückteren Perioden lockert sich das Maschenwerk; aber auch in einer Zeit, da schon reiche Mengen von nervösen Längsbahnen vorhanden sind, ist die primäre Anordnung des Markgerüstes in der radiären Gliederung der weissen Substanz immer noch zu erkennen.

Ueber die Kerne der Spongioblasten ist nicht viel Besonderes zu bemerken, sie sind im Allgemeinen von ovaler Gestalt und von einem Chromatinnetz durchzogen; auf späteren Stufen bin ich unregelmässigen Formen (Keulen- oder Dreieckgestalten) begegnet, ich wage indessen nicht, hierauf ein Gewicht zu legen, da bei diesen Formen eine ungenügende Conservirung im Spiel gewesen sein kann.

Je weiter das Mark in seiner Entwickelung vorgeschritten ist, um so gestrecktere Formen zeigen seine Spongioblasten. Schon auf

früher Stufe constatirt man das häufige gruppenweise Beisammenliegen ihrer Zellenleiber. Dies wird später noch viel auffälliger. Bei Embryonen der 6. und 7. Woche zeigt in der vorderen Markhälfte die der Höhle zugekehrte Wandschicht eine Reihenfolge von pfeilerartig angeordneten Spongioblastenbüscheln, zwischen welchen breite leere Zwischenräume übrig bleiben (Fig. 16). Es erklärt sich dies eigenthümliche Verhalten dadurch, dass die in den Zwischenräumen früher vorhandenen Zellen, die Keimzellen und die aus ihnen hervorgegangenen Neuroblasten ihre ursprüngliche Bildungsstätte verlassen haben und in die äusseren Schichten des Marks hervorgedrungen sind.

Die Flimmern an der freien Oberfläche der inneren Spongioblasten, der sog. Epithelzellen scheinen sich vom Ende der 5. Woche ab zu entwickeln. Kittpräparate sind für deren Studium im Allgemeinen nur wenig günstig.

Ich beschränke mich bei meiner Darstellung ausdrücklich auf die frühen Entwickelungsstufen des Markgerüstes (etwa bis in die Mitte des 2. Monats hinein). In späterer Zeit treten noch bedeutende Veränderungen ein, die den bleibenden Charakter des Gewebes mitbestimmen. Einestheils kommt es zur Entwickelung eines dichten Schwammnetzes auch innerhalb der grauen Substanz und zu einer Einhüllung der in dieser liegenden Nervenzellen und Nervenfasern, anderntheils erscheinen vom Ende des 2. Monats ab in der bis dahin kernfreien weissen Substanz Zellen von wahrscheinlich bindegewebiger Abkunft, welche weiterhin auch in die graue Substanz vordringen. Ich halte dieselben für die Vorgebilde der sog. Deiters'schen Pinselzellen, denn diese durch eine Reihe von neuen Forschern (Deiters, Boll, Ranvier, Gierke u. A.) so eingehend studirten Elemente haben mit den Spongioblasten keine Gemeinschaft. Alle diese späteren Entwickelungsvorgänge der Spongiosa bez. der Neuroglia verlangen ein specielles Studium, in das ich zur Zeit noch nicht eintreten werde, dagegen habe ich noch mit einigen Worten auf die Geschichte der Bodenplatte und auf die Deckplatte einzugehen.

Die Bodenplatte liefert keine Neuroblasten, ihre Zellen werden alle zu Spongioblasten und bei deren gedrängter Lage entsteht an den Grenzen der beiden Seitenhälften des Medullarrohres eine sagittal gestellte Substanzplatte, die in ihrem inneren Abschnitt die Zellenleiber der betreffenden Spongioblasten enthält, nach aussen davon aus

dichten Büscheln von Gerüstfasern besteht. Die letzteren verlaufen gleichfalls sagittal und sie erstrecken sich unter leichter Divergenz bis zur Oberfläche des Markes, wo sie unter Eingehung lateraler Verbindungen endigen. Vereinzelte Spongioblastenleiber treten auch noch zwischen diesen äusseren Fasern bis in die Nähe der Oberfläche auf. Als Ganzes bilden die fraglichen Fasern eine Art von Scheidewand zwischen den beiden Seitenhälften, und in diese primäre Scheidewand dringen von beiden Seiten her die bogenförmigen Fasern von Neuroblasten ein, indem sie dieselbe, sei es direct oder in leicht *S* förmig gebogenem Verlauf durchsetzen. Erst von dem Zeitpunkt ab, da solche Fasern da sind, können wir am Rückenmark von einer vorderen Commissur, am verlängerten Mark von einer Raphe reden. Während nun aber die primäre Scheidewand für die Fasern durchgängig ist, hemmt sie den Durchtritt von Zellen und sie giebt, wie ich dies bei anderem Anlass darthun werde, den Grund ab zu besonderen Ansammlungen von Zellenhaufen dies- und jenseits von der Mittellinie.

Die Deckplatte bewahrt gleich der Bodenplatte einen einheitlichen Charakter. Anfangs nur epithelial, bleibt sie dieses an der Medulla oblongata zeitlebens, am Rückenmark werden die Epithelzellen zu Spongioblasten. Sie nehmen eine im Allgemeinen schräge Stellung an und entwickeln in der Folge eine sehr breite Säulenschicht, deren einzelne Glieder sich dicht an einander anlegen. Indem sich sodann von den Seiten her die beiderseitigen Säulenschichten bis zur Berührung entgegenrücken, kommt es zwischen ihnen zu einer Verschmelzung und dadurch zu einem Verschluss des Centralkanals in der Richtung von hinten nach vorn, einem Vorgang, den ich in einer früheren Schrift beschrieben und abgebildet habe[1]).

Beobachtungen über die Markentwickelung bei verschiedenen Wirbelthieren.

Ausser dem Menschen und einigen Säugethieren (Kaninchen und Katze) habe ich verschiedene Repräsentanten anderer Wirbelthierclassen auf ihre embryonale Markbildung untersucht, das Hühnchen,

1) No. 2, Fig. 9 u. 10, S. 503 u. 505.

die Eidechse, den Frosch und den Landsalamander, das Neunauge, die Forelle und von Selachiern den Pristiurus. Ueberall habe ich dieselbe allgemeine Anordnung der Markbestandtheile wiedergefunden. Ueberall kehren die grossen runden Keimzellen wieder, mit hellem Protoplasmahof, überall das Markgerüst mit seinen säulenartig in die Membrana limitans sich einfügenden Stützfasern und seinem feinen reticulären Randschleier. Ueberall sind ferner Neuroblasten zu finden, als Zellen, die zur Zeit ihrer ersten Ausbildung birnenförmig gestaltet sind und die nach der einen gerundeten Seite hin einen anscheinend nackten Kern tragen, nach der anderen aber durch Vermittelung eines conischen Zwischenstückes in einen fadenförmigen Fortsatz, den Axencylinder, auslaufen. Die Klarheit, mit welcher die einzelnen Theile hervortreten, ist bei verschiedenen Thieren verschieden und sie wechselt bei derselben Art mit dem Entwickelungsgrad. Meine Beobachtungen sind an solchem Material angestellt, das mir zur Zeit zur Verfügung stand, und ich vermag nicht durchweg geschlossene Entwickelungsreihen mitzutheilen. Was indessen in den einzelnen Reihen an Zwischengliedern fehlen mag, das wird im Ganzen wohl genügend durch das ersetzt, was die Nachbarreihen zeigen.

Kaninchen und Katze. Die jüngsten Säugethierembryonen, welche ich auf ihre Markentwickelung untersucht habe, sind Kaninchen aus der Zeit, da sich die Rückenwülste eben emporwölben (Fig. 17). Der Markplattenantheil des Ectoblasten hat zu der Zeit den ausgesprochenen Charakter eines Cylinderepithels, und er besteht der Hauptsache nach aus pallisadenförmig an einander gereihten Zellen, deren jede mit ihrer Längsaxe senkrecht zur Oberfläche orientirt ist, mit ihren beiden Grundflächen sowohl die innere als die äussere Fläche berührend. Noch sind die Zellen verhältnissmässig kurz, etwa noch einmal solang als breit, und ihre ovalen Kerne liegen der Aussenfläche näher als der inneren. An jeder Zelle scheidet sich ein heller Protoplasmahof von einer trüben Endoplasmamasse. In der inneren Hälfte der Epithelplatte liegen in unregelmässigen Abständen von einander grosse runde Zellen, deren heller durchsichtiger Protoplasmaleib sich gegen den der Epithelzellen deutlich abhebt. Sie sind nicht sehr reichlich vorhanden, einige derselben zeigen Kerne mit ruhendem Charakter, andere zeigen Mitosen. Bei

den einen und bei den anderen pflegt sich ein zartes dunkles Fadengerüst vom Kern nach der Oberfläche hin zu erstrecken. Diese runden, zwischen die Epithelien eingeschobenen Elemente sind die Keimzellen.

Die eben beschriebenen Bestandtheile finden sich auch in einer nachfolgenden Stufe wieder, zur Zeit, da das Medullarrohr sich schliesst (Fig. 18). Die Epithelzellen sind jetzt gestreckter, ihre Kerne sind kleiner als zuvor, sie liegen in 3—4 Zeilen, der äusseren Oberfläche immer noch näher, als der inneren. Die Keimzellen verhalten sich wie zuvor, die ruhenden Kerne sind in Ueberzahl. Auch in der Zeit kurz nach Schluss des Medullarrohres ist der epitheliale Charakter der Markplatte noch sehr ausgeprägt. Die Zellen sind schlanker geworden und hauptsächlich in ihrem Aussentheil gewachsen, wodurch die Kernreihen mehr nach einwärts gerückt erscheinen.

Mit den beiden beschriebenen Zellenformen, den Epithelien und den Keimzellen, erscheinen schon von sehr früher Zeit ab die Anlagen für die später vorhandenen specifischen Elemente geschieden. Die Epithelzellen sind die Vorläufer der Spongioblasten und des mit diesen verbundenen Markgerüstes, von den Keimzellen aus vollzieht sich die Entwickelung der Neuroblasten[1]).

Den primitiven Epithelcharakter der Markplatte hat bekanntlich Hensen in seiner bahnbrechenden Arbeit über Säugethierentwickelung ganz besonders hervorgehoben, und er hat die Art der Schichtung, sowie die allmähliche Umbildung der Zellenformen bis zur Entstehung des äusseren Netzgerüstes sehr sorgfältig und eingehend studirt. Das Mark ist, wie er sich ausdrückt, ein einfach geschichtetes Epithel, in dem Sinn, dass zwar die kernhaltigen Zellenleiber verschiedene Lagen bilden, jede Zelle aber mit ihren Enden die beiden Grenzflächen der Markplatte erreicht.

---

1) Mit obiger Fassung ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass in früheren Zeiten ein Theil der Keimzellenabkömmlinge zu Epithelzellen bez. zu Spongioblasten wird. Positive Erfahrungen über solche Umbildungen besitze ich nicht, als sicher kenne ich nur die Umbildung von Keimzellen in Neuroblasten. Ich verweise auf die nachfolgende Besprechung dieser Frage.

Die Auffassung des Markes als eines einfach geschichteten Epithels lässt sich unter bestimmten Erweiterungen des Epithelbegriffes für das Markgerüst zeitlebens vertreten, dagegen können die Neuroblasten diesem Schema nicht subsumirt werden. Hensen hatte seinerseits auch die Nervenzellen und Nervenfasern aus den Epithelzellen (durch unvollkommene Theilung) abgeleitet. Wie dies von einem so feinen Beobachter nicht anders erwartet werden kann, so hat er die runden Keimzellen und die birnenförmigen Neuroblasten nicht übersehen, aber er hat sie für misshandelte Formen gehalten. Seine Zeichnungen zeigen Elemente sowohl der einen, wie der anderen Art. Im Text sagt er hierüber[1]): »Dazu kommt, dass die Zellen nicht selten eine rundliche oder den Ganglien ähnliche Form annehmen. Ich halte die Spindelform für die normalere, da das Mark bei rundlichen Zellen immer etwas gelockert, nicht so gut erhärtet zu sein scheint.«

In der Zeit nach dem Markschluss finde ich die ersten unzweifelhaften Uebergangszellen. Von den der inneren Grenzhaut anliegenden isolirten Elementen zeigen einzelne Birnenform, indem sie in eine nach auswärts gekehrte Spitze auslaufen. Von den Epithelzellen heben sich diese Elemente durch ihre helle Beschaffenheit scharf ab (Fig. 19). In ganz ähnlicher Weise finde ich die Uebergangszellen im Rückenmark von Katzenembryonen derselben Entwickelungsphase wieder (Fig. 20).

Die nun folgenden Stufen bringen beim Kaninchen eine starke Ueberfüllung des Markdurchschnitts mit Kernen. In 6—8fachen Reihen greifen diese in einander und reichen bis in die Nähe der Aussenfläche. Dazwischen liegen radiäre Fasern, wie ich annehmen darf, gemischten Ursprungs. Noch ist an der Aussenfläche die epitheliale Gliederung vorhanden, dann aber tritt (nach dem 12. Tage) eine Umbildung der Epithelien zum Markgerüst ein. Sowohl aussen als innen bildet sich eine Membrana limitans und während an der Innenseite nur die Randabschnitte der Zellen zur Bildung dieser Haut zusammentreffen, findet nach aussen eine weitergehende Verbindung statt. Die bisherigen Grenzen der Zellenleiber verschwinden und

---

1) Hensen No. 7, S. 382 u. ff. Unzweifelhafte Neuroblasten scheint die Figur 53*B* wiederzugeben.

an deren Stelle findet sich nunmehr eine trübe Substanzschicht, der Randschleier. Die Schicht ist von zahlreichen Lücken durchsetzt und besitzt zu der Zeit noch ein fein poröses Ansehen. Später werden die freien Zwischenräume grösser, der spongiöse Charakter der Schicht tritt deutlicher zu Tage und es finden sich einestheils radiär gestellte Bälkchen, die in gewissen Abständen auf einander folgen, anderntheils ein an diese sich anlehnendes feinmaschiges Gerüst, das die Zwischenräume der radiären Balken einnimmt. Figur 21 zeigt von einem Katzenembryo von 6 mm NL. eine Gruppe von äusseren Spongioblasten in Verbindung mit dem Randschleier. Man sieht daran, dass die Theilung der Ausläufer gleich nach aussen von den Zellen ihren Anfang nimmt, und dass an die radiären Hauptbalken sich ein System von kurzen Seitenbalken anfügt. In der Zeit, da die Entwickelung des Gerüstes soweit vorgeschritten ist, sind die motorischen Nervenwurzeln voll ausgebildet, sie erweisen sich als Fortsätze von Neuroblasten, welche zum Theil nahe an der Oberfläche liegen, zum Theil von dieser abstehen. Auch hier kehren die beim menschlichen Markrohr constatirte Gruppenbildung der Zellen und die büschelweise Vereinigung der von ihnen ausgehenden Fasern wieder (Fig. 22).

Die Beobachtungen an Säugethierembryonen, sowie die später zu schildernden an Selachiern führen zum Ergebniss, dass die Bildung des Randschleiers mit einer Verschmelzung der äusseren Abschnitte der Epithelienleiber sich einleitet. Das Gerüst, das wir in der Folge hier finden, entsteht nicht etwa dadurch, dass von der Oberfläche der Zellen einzelne Ausläufer frei hervorwachsen und unter einander sich verbinden, sondern es verschmelzen die Zellenleiber als Gesammtheit, und ihre Substanz wandelt sich in das Gerüst um. Da, wo jene gelegen hatten, da findet sich von einem gewissen Zeitpunkt ab das letztere. Der Uebergang der Epithelien in das Markgerüst vollzieht sich fast unmerklich, und dies beruht darauf, dass die Epithelzellen schon vor ihrer Verschmelzung in ihrem Innern eine Zeichnung zeigen, welrhe auf das Vorhandensein von Fadenstructuren hinweist. Diese innerhalb der Zellen vorgebildeten Structuren erhalten sich in den Balken des Markgerüstes, während die übrige Zellsubstanz eine Art von Einschmelzung zu erfahren scheint. Ich verweise auf die hierauf bezüglichen Erörterungen

in dem späteren Abschnitt über das Haifischmark, und ich hebe hier nur das Eine ausdrücklich hervor, dass wir uns den Process der Gerüstbildung nicht als die einfache Ausscheidung einer inactiven festen Masse vorstellen dürfen. Die am Gerüstbau betheiligte Substanz wächst als eine lebende durch geraume Zeit weiter, und auch das relativ späte Hervortreten von Flimmern an der inneren Oberfläche weist auf die physiologische Thätigkeit derselben hin.

Der Randschleier erweist sich, wie wir gesehen haben, als das Filter, welches die Neuroblasten in den Innenbezirken des Markes zurückhält, nur ausnahmsweise einzelnen Zellen den Durchtritt gestattend. Wie ist nun damit zu vereinbaren, dass die Gefässanlagen völlig unbehindert durch den Randschleier hindurchtreten und bis zur grauen Substanz vordringen? Zwei Gründe lassen sich hiefür anführen, die möglicherweise beide zugleich in Betracht kommen. Einmal wissen wir, dass die jungen Zellen aus der Gruppe der Bindesubstanzen in ganz besonderem Maasse schmiegsam sind und jedenfalls über ein formelles Anpassungsvermögen verfügen, das den Neuroblasten mit ihren grossen Kernen nicht zukommt. Sodann aber fällt auch das Eindringen der Blutgefässe in das Mark zeitlich in eine ganz andere Periode, als die Entwickelung der Neuroblasten. Die Maschen des Randschleiers sind zu der Zeit des Gefässeintritts verhältnissmässig schon recht weit (wenigstens gilt dies vom menschlichen Embryo) und es bietet keine Schwierigkeit, den Eintritt von Gefässanlagen in dieselben zu verstehen.

Eine besonders schwierige Frage ist die nach der Vermehrung der Epithelzellen und der Spongioblasten. Man hat an zwei Möglichkeiten zu denken: entweder liefern die sich vermehrenden Keimzellen sowohl Neuroblasten als Epithelzellen und Spongioblasten, oder die Epithelzellen vermehren sich direct. Ich bin keinen Bildern begegnet, welche ein Hervorgehen von Epithelzellen aus Keimzellen erkennen lassen, anderntheils aber besitze ich auch keine unzweifelhaften Anschauungen über die Theilung von Epithelzellen. Auf früheren Entwickelungsstufen nimmt die Menge der Kerne erheblich zu, während deren Grösse sich verringert. Hie und da bin ich auf Bilder gekommen, wo Mitosen anscheinend im Innern von inneren Spongioblasten lagen, aber man hat solche Bilder immer mit einer gewissen Vorsicht aufzunehmen, und ich ziehe es vor, die Frage nach

der Vermehrung der Epithelzellen noch offen zu lassen bis zur Gewinnung günstigen Beobachtungsmateriales. Eine Vermehrung der Spongioblasten in späterer Zeit anzunehmen, liegt m. E. kein entscheidender Grund vor.

Hühnchen. Beim Hühnchen ist gegen Ende des 2. Tages der Epithelcharakter der Markplatte noch vorhanden. Die Kerne liegen in 5—6 Reihen dicht in einander geschoben, ein jeder Kern innerhalb eines nach beiden Seiten hin sich verlängernden Zellenleibes. Die innersten Zellen setzen sich verbreitert in die M. limitans interna fort. Nach aussen nimmt eine etwas breitere Substanzlage die Zellenenden in sich auf. Sehr deutlich tritt zu der Zeit innerhalb des Zellenleibes eine mehr oder weniger verästigte Fadenstructur zu Tage (Fig. 23). Die Fadenbüschel sind es, welche an der äusseren und inneren Grenzfläche sich ausbreiten und unter einander verfilzen. Zwischen ihnen liegt eine durchsichtige Zwischenmasse. Die Menge der Keimzellen mit Mitosen ist eine mässige. Diese Elemente sowohl als die Epithelzellen sind verhältnissmässig klein.

In voller Entwickelung finde ich sowohl den Randschleier als die Neuroblasten im Beginn des 4. Tages. In Figur 24 habe ich eine Abgangsstelle vorderer Wurzelfasern gezeichnet, und es ergiebt sich, dass ein Theil der Fasern direct von solchen Neuroblasten kommt, welche an der Oberfläche der grauen Substanz liegen. Auch hier tritt jene büschelweise Zusammenordnung der Ansatzstücke und der Fasern zu Tage, der wir schon beim menschlichen Embryo begegnet waren.

Eidechse. Die jüngst untersuchte Stufe betrifft Embryonen von 3 mm Länge und noch offener Linsengrube. Drei- bis vierfache Reihen von Spongioblasten bilden die Hauptmasse der Platte und ihre Leiber gehen nach einwärts in schmale Pfeiler aus, die sich zur M. limitans interna verbinden. Eine äussere Grenzschicht wird von äusseren Pfeilern gebildet, zwischen denen verhältnissmässig umfängliche Lücken frei bleiben. Grosse runde Keimzellen liegen in mässiger Verbreitung unter der inneren Grenzhaut (Fig. 25).

Bei einer Eidechse von 6 mm NL. besitzt der Randschleier schon ziemlich weite Maschen und ist aus dicken Bälkchen gebildet. Die äusseren Neuroblasten bilden, besonders in der ventralen Markhälfte, eine mehrfache Lage, und zwischen ihnen findet sich ein

dichter Complex von sich durchkreuzenden Faserzügen (Fig. 26). Dadurch entsteht an der Grenze der grauen Substanz eine eigenthümlich undurchsichtige Schicht, die radialwärts in die vordere Commissur sich fortsetzt und aus der lateralwärts die motorischen Wurzeln hervortreten. Einer ähnlichen Schicht begegnen wir auch bei den Fischen und ich bezeichne sie als Intermediärschicht, sie entspricht den beiden vereinigten Lagen, welche wir bei Säugethieren und Vögeln als Mantel- und als Bogenschicht kennen gelernt haben. Ein Theil ihrer Fasern sind Bogenfasern, welche den Weg zu der vorderen Commissur einschlagen, andere gehen aus nahe liegenden Neuroblasten direct in die Wurzelbündel über, ein dritter und nicht geringer Theil aber wird aus solchen Wurzelfäden gebildet, welche, von höher oder tiefer liegenden Neuroblasten herkommend, das Mark in auf- oder in absteigender Richtung durchsetzen, um zu ihrer Austrittsstelle zu gelangen. Ueber die Menge dieser Fasern und über ihren theils schrägen, theils steilen Verlauf geben Frontalschnitte völlig klare Anschauungen. Bei einem etwas älteren Embryo, 9 mm lang vom Scheitel zur Schwanzwurzel, ist die Anordnung der Theile dieselbe, nur enthält der Randschleier eine reichlichere Menge von Längsfasern. Innerhalb des ventralen Abschnitts der Mantelschicht erkennt man sowohl an Quer-, als an Frontalschichten eine nicht geringe Anzahl von Neuroblasten, deren Ausläufer direct medialwärts gegen die vordere Commissur hinziehen. Beachtenswerth ist ferner das Auftreten vereinzelter Neuroblasten in der Peripherie des Randschleiers inmitten der weissen Substanz.

Amphibien (Salamandra maculata und Frosch). Vom gefleckten Salamander habe ich Larven von 8—9 mm Länge untersucht. Dünne Schnitte zeigen ein ausnehmend elegantes Markgerüst mit mehrfachen Reihen grosser Spongioblasten (Fig. 27). Die innerste Lage der letzteren hängt mit der inneren Grenzhaut durch verzweigte, unter sich netzförmig verbundene Balken zusammen. Die Kerne sind in diesen, sowie in den mittleren Schichten radiär gestellt und in letzteren hängen die Zellen auch der Quere nach unter einander zusammen. Die äussersten Spongioblasten stossen an den Randschleier und ihre Ausläufer verzweigen sich in diesen hinein. Die Kerne dieser Lage stehen vorwiegend parallel zur Oberfläche des Markes. Im Ganzen zeichnet sich das Netzwerk durch seine minder

starren Formen aus und durch die Grösse seiner Elemente. Die Neuroblasten (Fig. 28) der Salamanderlarven sind gleichfalls sehr gross, von ihrem breiten Kern geht ein rasch sich verjüngender Zellenleib in die Axenfaser über, eine fibrilläre Streifung ist an ihm erkennbar.

Am Mark von Froschlarven tritt der bei allen Wirbelthieren vorhandene Gegensatz zwischen einem weitmaschigen inneren und einem engmaschigen äusseren Markgerüst in ganz besonders ausgeprägter Weise zu Tage (Fig. 29). Die innersten Spongioblasten bilden eine dicht gedrängte Lage, von der aus radiäre Fasern nach auswärts sich erstrecken, um in ein von mittleren und äusseren Spongioblasten gebildetes Netzwerk einzutreten. Alle aus Protoplasma hervorgegangenen Theile des Markgerüstes, einschliesslich der inneren Grenzhaut und des Randschleiers, enthalten schwarzes Pigment, theils in feineren, theils in groben Körnern. Ebenso sind die Neuroblasten pigmenthaltig, das Pigment sammelt sich hier in dem Ansatzkegel der Axenfasern, jeder Neuroblast läuft somit nach der einen Seite hin in eine schwarze Spitze aus. Bei manchen Neuroblasten erstreckt sich das Pigment als eine dünne Schale um den Kern herum, den es entweder ganz oder doch grossentheils umhüllt.

Petromyzon. Ich habe Larven von Ammocoetes Planeri von 5—6 mm Länge untersucht. Der Querschnitt des Rückenmarks (Fig. 30) ist klein und auch dessen Zellen sind von etwas geringerem Durchmesser als bei anderen Wirbelthieren auf gleicher Entwickelungsstufe, dabei sind sie sehr dicht in einander gedrängt. Die Gliederung des Gerüstes tritt, wenigstens bei den von mir benutzten, in Sublimatlösung fixirten Präparaten, nicht deutlich zu Tage. Eine innere, dem Centralkanal zugewendete Reihe von Kernen gehört den inneren Epithelzellen oder inneren Spongioblasten an, nach aussen davon folgen sofort mehrfache Reihen sehr charakteristischer Neuroblasten, deren Fasern zum Theil in eine Intermediärschicht, zum Theil direct in die ventralen Wurzelbündel eintreten. Der Randschleier ist von sehr dichtem Gefüge, trüb und undurchsichtig, mit Andeutungen einer radiären Streifung.

Forelle. Wer sich rasch eine überzeugende Anschauung von Neuroblasten und von ihren Beziehungen zu abgehenden Nervenfasen verschaffen will, der wird am besten dünne Durchschnitte von Forellenembryonen von ca. 10 mm Länge benutzen. Ich beschränke

mich auf die Beschreibung des Rückenmarks, bemerke aber, dass das verlängerte Mark z. Th. noch vorzüglichere Anschauungen gewährt als jenes. Hier liegen in der That die Verhältnisse in der wünschbar grössten Deutlichkeit vor Augen. Ich gebe als Beispiel in Fig. 31 den Durchschnitt durch das Rückenmark eines Forellenembryo von der angegebenen Länge. Der Centralkanal ist in seiner dorsalen Hälfte bereits geschlossen. Die Spongioblasten bilden um demselben herum eine Art von Strahlenkranz in zwei- bis dreifacher Reihenfolge der Elemente. Die Form der Zellen ist eine gestreckte und auch ihre Kerne sind in die Länge gezogen. Von ähnlich geformten Neuroblasten sind sie dadurch zu unterscheiden, dass sie nach beiden Seiten hin sich verlängern, bez. dadurch, dass sie mit der inneren Grenzhaut verbunden sind. Weniger deutlich und jedenfalls weniger zahlreich sind die äusseren Spongioblasten, die hinter der Menge von Neuroblasten ganz zurücktreten. Der Randschleier zeigt Andeutungen einer radiären Streifung, ist im Uebrigen von feinen Fadennetzen durchzogen und enthält schon zahlreiche Längsbündel. Ein System von Bogenfasern grenzt denselben gegen den zellenhaltigen Theil des Querschnitts, die Anlage der grauen Substanz ab.

Die Hauptmasse des Querschnitts bilden gedrängt liegende Schaaren von Neuroblasten, in verschiedenen Grössen und in verschiedenen Graden der Ausbildung. In den inneren Abschnitten und besonders in der ventralen Ecke der Seitenwand finden sich schlanke Formen mit länglichen Kernen, und in der äussersten Lage, der eigentlichen Mantelschicht, vollere Formen mit rundlich ovalem Kern. Jene zeigen noch dunkle chromatinreiche Kerne, bei diesen ist der Kern blass und von dem gleichfalls blasskörnigen Protoplasma nur wenig unterschieden. Eine grosse Anzahl der Neuroblasten zeigt jene auffälligen Charaktere, die ich früher für die menschlichen Uebergangszellen beschrieben habe: Der Kern spitzt sich zu und erscheint in den intensiv gefärbten Ansatzkegel der Faser vorgeschoben (Fig. 32). Da, wo diese Stufe ausgeprägt ist, da gewähren die Querschnitte dadurch, dass ein grosser Theil der Zellen in eine dunkle Spitze ausläuft, schon bei schwacher Vergrösserung ein sehr auffallendes Bild.

Die Fasern, welche von den Neuroblasten ausgehen, treten zum Theil direct in Wurzelbündel über. Allein auch diejenigen Fasern,

für welche dies nicht nachweisbar ist, convergiren gegen die Ecke hin, an welcher die Wurzelbündel die graue Substanz verlassen. Vordere Neuroblastenfortsätze treten in mehr oder minder frontaler Richtung lateralwärts, die hinteren dagegen in sagittaler oder schräger Richtung ventralwärts. Im Bereich der betreffenden Ecke kommt es zu Faserdurchkreuzungen und zur Bildung einer intermediären Schicht. Ein Theil der hier sich durchkreuzenden Fasern mag noch auf Umwegen den austretenden Wurzelbündeln sich beigesellen, andere treten in die ventrale Commissur ein und noch andere scheinen in Längsstränge umzubiegen.

Vereinzelt liegende Neuroblasten finden sich inmitten der weissen Substanz, z. Th. sogar dicht unter der Aussenfläche des Markes, ihre Ausläufer sind nach einwärts gerichtet. Besonders auffällige Bildungen sind die Riesenzellen, welche in doppelter Reihe die dorsale Nahtlinie des Rückenmarkes einsäumen. Auch diese durch ihren Protoplasmareichthum alle anderen Neuroblasten weit übertreffenden Elemente besitzen die charakteristische Birnenform. Der Kern liegt an dem radialwärts gekehrten stumpfen Ende und er ist ringsherum von einem Protoplasmasaume umfasst. Er enthält einen sehr grossen Kernkörper, sonstige Structuren treten an meinen Schnitten nicht deutlich hervor. Aus dem sich zuspitzenden lateralen Ende der Zellen entspringt eine dicke Faser, die eine Strecke weit unter der Oberfläche entlang verfolgbar ist, dann aber zwischen den übrigen Fasern der Gegend sich verliert (Fig. 31).

Selachier. Ich komme nun zu der Neuroblastenfrage bei den Selachiern. Bei diesen hatte bekanntlich Balfour seine Studien über Nervenentwickelung begonnen, und die Beobachtungen über die Constitution der vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven hatte ihn zu der Vorstellung geführt, dass die Nerven aus Längsreihen von Zellen hervorgehen. Die Zellen selber leitete Balfour aus dem Rückenmarke ab, ihre Leiber sollten weiterhin zu den Fasern werden und ihre Kerne allmählich auseinanderrücken. Das Bild vorderer Wurzeln von Rückenmarksnerven ist in der That so, wie es Balfour beschreibt und abbildet: lange Reihen von Zellkernen bezeichnen den Weg neu entstandener Stämme, und besonders dicht pflegen die Kerne gerade in der Nähe von deren Abgangsstelle zu liegen. Nun wird kein klar denkender Forscher annehmen, dass bei den

Haifischen der Weg der Nervenbildung ein principiell anderer sein könne, als bei anderen Wirbelthieren. Wenn sich für höher stehende Wirbelthiere, sowie für Amphibien und Knochenfische der Nachweis liefern lässt, dass die motorischen Nervenfasern als fadenförmige Auswüchse bestimmter Rückenmarkszellen entstehen, so muss dieser Satz auch für Haie und Rochen seine Gültigkeit haben. In einer meiner letzten Arbeiten habe ich den directen Nachweis geführt, dass in der That dem also ist, ich habe an Haifischembryonen Fortsätze von Rückenmarkszellen beobachtet, beschrieben und abgebildet, welche als dünne Fäden in die vorderen Wurzeln eintreten und die als eigentliche Wurzelfasern nach ihrem Austritte aus dem Marke von einer Scheide von Bindegewebszellen eingefasst werden[1]). Das Vorhandensein dieser Scheiden einerseits, die Sparsamkeit und schräge Stellung der Wurzelfasern andererseits gestalten die Haifischembryonen zu einem für derartige Beobachtungen wenig günstigen Material, und so ist es verständlich, wenn Balfour bei seinen ersten Untersuchungen den richtigen Sachverhalt übersehen hat. Bekanntlich hat er indessen auch später, als über die Nervenbildung bei höheren Thieren keine Unklarheiten mehr obwalteten, seine Vorstellung festgehalten und dieselbe als eine für alle Nervenbildung massgebende erachtet[2]).

Im Laufe des verflossenen Jahres ist die Bildung vorderer Wurzeln bei Selachiern von verschiedenen Forschern besprochen worden. Zunächst, wenn auch nur nebenher in einer Note, von Dohrn. Dieser Beobachter sagt[3]), dass er »Balfour und seinen Nachfolgern nicht Recht geben kann, welche ohne Weiteres die spindelförmigen Zellen, welche frühzeitig den hervorwachsenden ventralen Nerven sich an- und umlagern, für Nervenzellen halten«. Dohrn hält diese Zellen mit mir und mit Anderen für Mesodermelemente. Dagegen treten nach ihm bei verschiedenen Selachiern unzweifelhafte Zellen aus dem Medullarrohr in die vorderen Wurzeln über, Zellen, deren Bedeutung er unbestimmt lässt.

Kastschenko in seiner vorläufigen Mittheilung zur Entwickelungsgeschichte des Selachierembryos lässt, gleich mir, die Nervenfasern

1) No. 4, S. 393.
2) No. 15, S. 291.
3) No. 17, S. 76.

als Fortsätze von Zellen entstehen. Er beruft sich speciell auf den N. trochlearis, welcher bei Selachierembryonen Anfangs keine Bindegewebshülle besitzt und aus drei parallel gehenden kernlosen Fäden besteht, die vom Gehirn bis zum Muskel verfolgt werden können.

Van Wijhe[1]) stellt sich in einer kurzen Bemerkung auf Seite Balfour's, und in einer soeben erschienenen Arbeit nimmt auch Beard dessen Partei[2]). Dieser Autor schlägt einen eigenthümlichen Ton an: er hat den Austritt motorischer Fasern aus Rückenmarkszellen und deren Umlagerung mit Bindegewebszellen niemals zu sehen vermocht, und so behauptet er ohne Weiteres, dass meine Angaben und meine Zeichnungen einer thatsächlichen Unterlage entbehren. Gegenüber einer Kampfweise, welche die Wahrheitsliebe des Gegners verdächtigt, giebt es keine wissenschaftliche Polemik, und ich wende mich demnach direct zur Darstellung meiner erneuten Untersuchungen über die Markentwickelung und das Auftreten der motorischen Nervenfasern bei Selachiern. Das Material bilden Pristiurusembryonen, die der Mehrzahl nach in Sublimatlösung fixirt, in Alkohol von 70 % aufbewahrt, mit Hämatoxylin und Eosin gefärbt worden sind.

Behufs einer ersten Orientirung beginne ich mit einer Stufe, die in der Entwickelung schon etwas vorgeschritten ist: Querschnitte durch das Rückenmark eines Pristiurusembryo von ca. $2^1/_2$ cm Länge zeigen die Gliederung in eine zellenhaltige und eine im Allgemeinen zellenfreie Schicht (Fig. 33). Eine doppeltcontourirte M. limitans bildet den inneren Abschluss der Zellenschicht, in sie treten zahlreiche radiäre Stützfasern ein, von denen die einen schon in geringer, andere erst in grösserer Entfernung mit kernhaltigen Spongioblastenleibern zusammenhängen. Aehnliche Radiärfasern durchsetzen auch die tieferen Abschnitte der Zellenschicht und sie treffen hier auf äussere Lagen von Spongioblasten. Durch quere Seitenäste wird das System dieser Theile zu einem losen Maschenwerk verbunden, in dessen Zwischenräume die Neuroblasten sich einlagern. Die äusseren Radiärfasern zertheilen sich weiterhin und gehen jenseits vom Kernbezirk in ein sehr zierliches Netzwerk von feinen, unter sich zusammenhängenden Bälkchen, den Randschleier über, welches die Seitenfläche des Marks von aussen her umkleidet.

1) No. 16, S. 465.

2) No. 18, S. 192 u. f.

Die in den Maschen des inneren Gerüstes liegenden Neuroblasten zeigen die bekannte Birnform, ihre Ausläufer wenden sich im Allgemeinen nach auswärts, einige direct, andere in schräger Richtung, daneben finden sich auch solche Fasern, welche ventral- oder dorsalwärts verlaufen. Die verschiedenen Fasern treten zunächst in eine das Vorderhorngebiet umgreifende streifige und eigenthümlich trübe Intermediärschicht ein. Sie besteht der Hauptsache nach aus Fasern, von denen einige im Bogen, andere schräg verlaufen und die sich mannigfach durchkreuzen und verfilzen. Dazwischen liegen einzelne Neuroblastzellen eingebettet, und ausserdem wird die Schicht von den Aesten der Radiärfasern durchsetzt, welche in den Randschleier übergehen. Nach auswärts läuft die Intermediärschicht in Zacken aus, welche, soweit es sich nicht um Gerüstbestandtheile handelt, aus Gruppen von austretenden Fasern bestehen. Bemerkenswerth ist das vereinzelte Vorkommen von Neuroblasten im Randschleier; deren Ausläufer finde ich nach einwärts, d. h. der Intermediärschicht zugekehrt.

Die an Querschnitten erhaltenen Bilder werden durch solche von Frontalschnitten ergänzt, und zwar habe ich besonders instructive Anschauungen an etwas unsymmetrisch geführten Schnitten gewonnen, bei denen nach einer Seite hin die vorderen Wurzeln auf grössere Strecken in den Schnitt gebracht sind. Nach einem solchen Schnitte ist Fig. 34 gezeichnet. Die Wurzelbündel treten in grösseren Abständen (von ca. 0,25 mm) aus dem Rückenmark hervor. Jedes Bündel bezieht seine Fasern aus einem entsprechend breiten Bezirk des Rückenmarks. Die Sammlung derselben erfolgt zum Theil noch innerhalb des Markes, zum Theil erst in der Leibeswand. Es treten je zwei Hauptbündel convergirend aus der Markfläche hervor, die sich jenseits von der M. limitans meningea, innerhalb der Körperwand zu einem gemeinsamen Stämmchen vereinigen. Jedes der beiden Bündel setzt sich wieder aus kleineren Faserbüscheln zusammen, welche, von verschiedenen Stellen herkommend, schon innerhalb des Markes weit ausgebreitete Fächer bilden. Diese Faserbüschel durchsetzen zunächst den durch seine Längsfaserung charakterisirten Vorderstrang und verlieren sich meistens noch diesseits der eigentlichen Neuroblastenlager in der Intermediärschicht. Nach letzterer Schicht gelangt von der anderen Seite her auch die Mehrzahl

der Neuroblastenfasern. Die Neuroblasten zeigen sich bei dieser Ansicht grossentheils in sehr deutlicher Weise als birnförmige, mit je einem Fortsatz versehene Zellen. Die Intermediärschicht zeigt einen grossen Reichthum an radiär gestellten Fasern, an die sich rundliche, dreieckige, oder sonstwie gestaltete kleine Felder anschliessen. Aus dem Befund an Querschnitten ergiebt sich, dass diese Felder von Neuroblasten herstammende Fasern und Faserbüschel sind, die hier eine Strecke weit der Fläche nach verlaufen, bevor sie anderswohin sich wenden. Die Radiärfasern gehören zum Theil dem Stützgerüst an, zum Theil sind es Fortsätze der Neuroblasten.

Die Wurzelfasern, soweit sie im Mark verlaufen und zwischen diesem und der Aussenwand sich ausspannen, haben den Charakter von feinen kernlosen Fäden, meist sind sie etwas wellig gebogen, was möglicherweise Folge der Präparation ist. Denselben Charakter kernloser Fäden behalten die Wurzelfasern auch nach ihrem Eintritt in die Leibeswand; innerhalb des Stämmchens sind sie lose zusammengeordnet und von zahlreichen Bindegewebszellen begleitet. Diese liegen zum Theil in Reihen, grossentheils aber in regellosen Gruppen um die Nervenstämmchen herum. Ein besonders dichtes Nest derselben findet sich constant in dem Winkel an der Verbindungsstelle der beiden den Stamm der motorischen Wurzel zusammensetzenden Hauptbündel. Die Zellen sind spindelförmig oder mit mehreren, meistens drei, Ausläufern versehen und sie differiren nicht von den übrigen Bindegewebszellen der Umgebung.

Fassen wir die Ergebnisse zusammen, so zeigt zu der Zeit das Mark eine reiche Entwickelung von Neuroblasten. Im Vorderhorngebiet gehen deren Fortzätze, der Mehrzahl nach, nach auswärts; nur ein kleiner Theil derselben gelangt unmittelbar zur Oberfläche, die meisten treten zunächst in die Intermediärschicht ein. Aus eben dieser Schicht kommen aber auf der anderen Seite Faserbüschel, welche direct in die vorderen Wurzeln sich verfolgen lassen. Von den Büscheln, welche zu einem Stämmchen sich vereinigen, verfolgen nur die in der Verlängerung des letzteren liegenden eine annähernd gestreckte Bahn, die übrigen beschreiben mehr oder minder gebrochene Linien, um so mehr, je weiter sie von der Axe des Stämmchens sich entfernen; zeitweise können sie longitudinal verlaufen, und zwar kommt letzteres Verhalten sowohl innerhalb, als ausserhalb

des Markes vor. Hinsichtlich des Verhaltens der Neuro- und Spongioblasten, desjenigen des Myelospongiums und der Zusammensetzung der Wurzelbündel bietet das Haifischmark dieser Stufe keine Abweichungen von anderen Wirbelthieren und nur die Intermediärschicht erscheint als eine Bildung von nicht allgemeinem Vorkommen.

Es ist anzunehmen, dass die eben beschriebene Anordnung der aus dem Mark hervortretenden Wurzelbündel schon frühzeitig angelegt wird, und dass sie daher auf jüngeren Stufen gleichfalls nachweisbar ist. An einem Pristiurusembryo von ca. 8 mm Länge (Stadium *K*) habe ich eine Controllprüfung auf dem Wege der Zählung vorgenommen. Aus der tadellosen Reihe von 10 μ dicken Querschnitten habe ich 2 Objectträger, mit zusammen 168 durch den Rumpf gehenden Schnitten, auf das Vorhandensein motorischer Wurzeln abgezählt. Für die linke Seite des Embryo ergab sich nachstehende Reihenfolge der mit Wurzeln versehenen (*W*) und der die wurzelfreien Zwischenräume einnehmenden Schnitte (*Z*):

I[1].	II.	III.	IV.
W 2 —	*Z* — 12	*W* 3 —	*W* 2 —
Z — 15	*W* 2 —	*Z* — 2	*Z* — 1
W 3 —	*Z* — 1	*W* 1 —	*W* 2 —
Z — 1	*W* 3 —	*Z* — 12	*Z* — 15
W 3 —	*Z* — 14	*W* 2 —	*W* 1 —
Z — 15	*W* 2 —	*Z* — 1	*Z* — 2
W 2 —	*Z* — 1	*W* 2 —	*W* 2 —
Z — 1	*W* 3 —	*Z* — 15	*Z* — 12
W 1 —	*Z* — 12		

Innerhalb der gegebenen Länge von 1,68 mm sind danach 17 Wurzelbündel vorhanden, und jedes Bündel erscheint in zwei oder drei auf einander folgenden Schnitten; sehr schwache Bündel sind auf einen einzigen Schnitt beschränkt. Die Zahl der Schnitte, welche Wurzeln getroffen haben, beträgt 36, oder ein Fünftel der Gesammtzahl. Die Tabelle zeigt ferner, dass lange wurzelfreie Zwischenräume von 12—15 Schnitten mit kurzen von 1—2 Schnitten abwechseln. Die Wurzelbündel sind somit paarweise angeordnet, es treten je zwei zu einem gemeinsamen Stamm gehörige Wurzelbündel nahe bei einander aus dem Rückenmark hervor, und ein solches

1) Die vier Colonnen schliessen sich, den römischen Ziffern entsprechend, an einander an, II ist die Fortsetzung von I u. s. f.

Doppelbündel, eine Gesammtbreite von 40—70 μ einnehmend, ist vom nächstfolgenden Bündel durch einen Zwischenraum von 120 bis 150 μ geschieden. Auf der vorgerückteren Stufe, von der oben die Rede war, betrug der gegenseitige Abstand zweier sich folgender Wurzelstämmchen ungefähr $^1/_4$ mm. Mit zunehmendem Wachsthum des Rückenmarks werden die gegenseitigen Abstände der Wurzelbündel absolut grösser. Damit steht in völliger Uebereinstimmung das Zählungsergebniss an mehr caudalwärts liegenden Strecken desselben Embryo, nach dessen Rumpfdurchschnitten obige Tabelle entworfen ist. In dem durch Anlagerung des Eingeweiderohres an die Bauchwand sich charakterisirenden Becken- und im Schwanztheile dieses Embryos sind die Stämmchen noch unentwickelt, sie sind kürzer und dünner als weiter vorn, noch nicht mit beiden Bündeln angelegt und sie stehen in geringeren Abständen von einander. Als Beispiel gebe ich eine Reihe von 35 Schnitten in der Folge von vorn nach hinten:

W	2	—
Z	—	10
W	1	—
Z	—	10
W	1	—
Z	—	10
W	1	—

Hier kommen, wenn man die erste Wurzel nicht rechnet, auf 33 Schnitte nur 3 mit getroffenen Wurzeln, d. h. es enthält von 11 Schnitten nur einer eine getroffene Wurzel.

Mit voller Sicherheit lässt sich durch eine planmässige Verfolgung von Schnittreihen der schräge Verlauf von einem grossen Theil der austretenden Wurzelbündel darthun. Da, wo zwei oder drei Schnitte dasselbe Wurzelbündel treffen, sind die Bilder, die sie gewähren, unter sich ungleich. Es finden sich 1) Schnitte, an welchen ein kurzer, meistens etwas zugespitzter Stumpf dem Rückenmark verbunden erscheint, 2) solche, in denen der mit dem Rückenmark zusammenhängende Stamm auf eine gewisse Länge bis über die Theilung in Ramus dorsalis und R. ventralis hinaus getroffen ist, und 3) Schnitte, in denen der Stamm dicht am Rückenmark abgeschnitten aufhört, ohne mit diesem sich zu verbinden. Die Bilder der ersten Art sind stets Randbilder, das heisst sie finden sich an den äussersten, das Wurzelbündel treffenden Schnitten; es folgen sich

somit die Schnittbilder 1 und 2 oder 1, 2 und 3, oder es kann endlich die Reihenfolge 1, 2, 1 vorhanden sein. Ersteres Verhalten weist auf eine schräge Stellung des Wurzelbündels hin, das letztere auf ein fächerförmiges Zusammenlaufen seiner Ursprungsfasern. Was von dem schrägen Verlauf der austretenden Wurzelbündel gilt, das muss unter der Voraussetzung bereits vorhandener intramedullarer Fasern von diesen in noch erhöhterem Maasse gelten. Soviel steht jedenfalls fest, beim Durchsuchen von Schnittreihen auf Wurzelursprünge müssen wir erwarten, den directen Zusammenhang der Wurzelfasern mit ihren Ursprungszellen nur vereinzelt vorzufinden. In der relativ kleinen Zahl von Schnitten, welche überhaupt Faseraustritte aus dem Mark enthalten, werden die in der Richtung ihres Verlaufes getroffenen Fasern eine Minderzahl bilden. Die jüngsten Stufen der Faserbildung erweisen sich für die bezüglichen Beobachtungen am günstigsten; auf vorgerückteren Stufen hat man sich im Allgemeinen mit dem Nachweis zu begnügen, dass die Wurzelfasern aus der Intermediärschicht hervortreten.

Nach obigen orientirenden Voruntersuchungen wende ich mich zur schrittweisen Verfolgung der Markentwickelung, und ich beginne mit einer frühen Stufe, wo die Markplatte noch nicht zum Rohr geschlossen ist und der Embryo noch Schleifenform besitzt (Länge des Embryo 1,75 mm, Stufe *C* von BALFOUR). Zu der Zeit hat die Markplatte das Gefüge eines Cylinderepithels (Fig. 35). Die Mehrzahl ihrer Zellen sind von gestreckter Form und als Regel gilt, dass eine jede derselben mit ihren Enden sowohl die innere als die äussere Oberfläche der Platte erreicht. Die Zellen enthalten grosse Dotterkörner, die bis zu 2 μ im Durchmesser besitzen. Die Kerne bilden im Allgemeinen zwei verschränkt in einander greifende Reihen, indem sie abwechselnd etwas mehr nach innen oder nach aussen hervortreten. Sie sind sehr chromatinreich und nehmen eine fast gleichmässige Färbung an, gute Linsen zeigen indessen in ihrem Innern eine netzförmige Zeichnung und grosse Kernkörper. Der Gruppirung der Kerne in zwei Reihen entspricht auch die alternirend stärkere Entwickelung bald des Innen- bald des Aussentheils der Zellenleiber. Eine M. limitans existirt weder an der inneren, noch an der äusseren Oberfläche der Markplatte, die einzelnen Zellen endigen getrennt von einander.

In gewissen unregelmässigen Abständen liegen zwischen den Epithelzellen grosse kuglige oder ovale Elemente, die Keimzellen. Auch sie enthalten Dotterkörner, und ihre Kerne zeigen verschiedene Stufen von Mitosen mit feinen Chromatinschleifen. Die Keimzellen pflegen der Innenfläche der Markplatte anzuliegen, von den benachbarten Epithelzellen werden sie zum grossen Theil umgriffen, ohne indessen durchweg von der Oberfläche abgedrängt zu sein.

Unmittelbar nach Schluss des Markrohres (Länge des untersuchten Embryo 2,5 mm, Balfour's Stufe *G*) ist der Charakter der Durchschnittsbilder nur wenig verändert (Fig. 36). Die Epithelzellen sind etwas mehr gestreckt, ihre Kerne etwas schlanker und deren Reihen sind im Allgemeinen weiter auseinandergerückt und minder regelmässig angeordnet als zuvor. Auch jetzt enthalten die Epithelzellen noch Dotterkörner und sie laufen nach beiden Seiten hin frei aus, ohne verbindende Grenzhaut. Das Verhalten der Keimzellen ist dasselbe geblieben.

Die mitgetheilten Beobachtungen zeigen, dass gleich wie bei höheren Wirbelthieren so auch bei den Haifischen von früh ab zwei verschiedene Formen von Elementen in der Markplatte enthalten sind: die Epithelzellen und die Keimzellen, jene als Ausgangsgebilde der Spongioblasten, die Keimzellen als Bildungselemente der Neuroblasten. In einer nun folgenden Periode schwinden ziemlich rasch die in den Zellen des Markrohres enthaltenen Dotterkörner und zugleich leiten sich die Processe ein, welche zur Bildung des Markgerüstes und der ersten Nervenzellen führen. Die frühesten auf diese beiden Processe bezüglichen Anschauungen entnehme ich der Schnittreihe eines Pristiurusembryo von $4^1/_2$ mm Gesammtlänge (Stadium *G* oder *H* von Balfour)[1]). Das Präparat, aus meinen älteren Vorräthen stammend, scheint in Chromsäure oder chromsaurem Kali gehärtet zu sein, da die inneren Kernzeichnungen daran undeutlich sind, die Schnittdicke der Reihe beträgt 5, z. Th. auch nur $2^1/_2$ μ.

---

1) Der genaue Anschluss an die sonst so erwünschte Stadieneintheilung von Balfour wird dadurch etwas erschwert, dass dieser Autor keine Maassangaben macht, weder in Betreff der gezeichneten Embryonen, noch in Betreff der angewandten Vergrösserungen. Nach Balfour fällt die Bildung des N. trigeminus in das Stadium *G*, die der übrigen Kopfnerven in das Stadium *H* und die der Rumpfnerven in das Stadium *J*. No. 19, S. 191 u. 156.

Das epitheliale Gefüge des Markrohres ist noch deutlich vorhanden, an der inneren Oberfläche treten die Zellengrenzen ausgeprägter zu Tage als aussen (Fig. 37). Die einen Zellen sind nach einwärts, die anderen nach aussen zu verbreitert, und die ersteren gewähren in Betreff ihrer Constitution besonders klare Anschauungen. Der Zellenleib scheidet sich in eine durch Farbstoffe leicht imprägnirbare trübe, und in eine durchsichtige helle Substanz. Die trübe Substanz ist um den Kern herum angehäuft, von da aus erstreckt sie sich in den aufgetriebene Zellenabschnitt als ein verzweigtes feines Fadennetz, im schmalen Zellenabschnitt bildet sie dagegen einen, anscheinend gleichfalls aus Fäden zusammengesetzten Strang, welcher an seinem freien Ende in getrennte Zweige auseinander weicht. Das Bild einer solchen Epithelzelle erinnert in mancher Hinsicht an dasjenige einer Schleimzelle, bei welcher ja der Schleimtropfen als helle Substanz auch von einem Protoplasmanetz umfasst zu werden pflegt. Die Uebereinstimmung besteht ferner darin, dass sich die Fäden der epithelialen Markzelle vorzugsweise, oder vielleicht ausschliesslich an der Oberfläche der durchsichtigen Masse ausbreiten.

Die eben beschriebene intracellulär auftretende Fadensubstanz ist das Bildungsmaterial der Spongiosabalken und der Grenzhäute. Die zu einem Strang verbundenen Aussenstücke der Substanz besitzen schon jetzt den Charakter von Radiärfasern und ihre terminale Ausbreitung entspricht dem Verhalten, wie wir es auf späteren Stufen an den Gerüstbalken wiederfinden. Innen bilden die Fäden noch eine Art von hohlem Korbgeflecht, und damit hieraus eine in der verlängerten Kernaxe verlaufende Radiärfaser entstehe, bedarf es einer Vereinigung der getrennten Fäden zu einem gemeinsamen Strang. Als Anlage der inneren Grenzhaut ist jenes terminale Protoplasmanetz anzusehen, welches die Zellen an ihrer freien inneren Oberfläche bekleidet; der Randschleier geht aus der äusseren Ausbreitung der Fadensubstanz hervor. Innere Grenzhaut und Randschleier sind ursprünglich intracellulär angelegte Bildungen, deren einzelne Stücke beim Verschwinden der Zellengrenzen der Fläche nach unter einander zusammentreffen. Wenn wir späterhin finden, dass sowohl die Säulenschicht als der Randschleier von Spongioblastenkernen frei sind, so erklärt sich dies Verhalten in sehr einfacher

Weise dadurch, dass diese beiden Schichten aus den kernfreien Endabschnitten der ursprünglichen Epithelzellen hervorgegangen sind.

Ich habe die Umbildung der Epithelzellen zu Spongioblasten an dieser Stelle ausführlicher besprochen, weil ich gerade an Haifischembryonen das günstigste Material zu deren Beobachtung vorgefunden habe. Allein ähnliche Bilder, wie die oben beschriebenen sind auch an den Markzellen anderer Wirbelthiere (Kaninchen, Hühnchen, Eidechse) erhältlich. Auch hier sind intracelluläre Fäden erkennbar, zu einer Zeit, wo man die Grenzen der Epithelzellen noch deutlich vor Augen hat. Die Frage nach der Natur der durchsichtigen Substanz und nach deren späteren Schicksalen bedarf einer besonderen Bearbeitung, auf die ich diesmal nicht eintrete. Der nächstliegende Gedanke ist der, dass es sich um eine Art von Schleimstoffproduction handelt, wobei das betreffende Product späterhin zu Seite gedrängt, oder durch Quellung erweicht und verflüssigt wird. Die betreffende Substanz braucht dabei das Mark nicht zu verlassen, sie kann die Zwischenräume des Balkengerüstes erfüllen, soweit diese nicht von Neuroblasten und späterhin von Blutgefässen eingenommen werden. Es ist hier daran zu erinnern, dass der specielle Bearbeiter der centralen Stützgewebe, H. Gierke eine zeitlebens persistirende ungeformte Grundsubstanz des Centralnervensystems annimmt. Er schildert dieselbe als eine homogene, structurlose, durchaus glashelle und durchsichtige Masse und als eine weiche, aber nicht flüssige Eiweisssubstanz, die beim Absterben des centralen Nervensystems an Consistenz verliert[1]). Mag dem sein, wie ihm will, so ist jedenfalls so viel sicher, dass mit der Umbildung der Epithelzellen zu Spongioblasten die Bedingungen für die Ausbreitung der Keimzellen und der aus ihnen hervorgehenden Neuroblasten durchaus andere werden, und dass das für diese Theile verfügbare Spaltensystem in einer ganz neuen Weise sich umgestaltet. Innen bildet sich ein ergiebiges Raumsystem zu deren Aufnahme, aussen wird mit Bildung des Randschleiers ein Abschluss geschaffen, der einen weiteren Durchtritt von Zellen hintanhält.

Bei demselben Embryo, dessen Epithelzellen eben beschrieben worden sind, finden sich, zwischen diese Elemente eingeschoben,

1) H. Gierke, No. 10, S. 460.

rundliche und eiförmige Zellen, welche als Keimzellen oder wohl grossentheils schon als Uebergangszellen anzusprechen sind (Fig. 37 bis 39 *Ue*). Diese Zellen liegen in verschiedenen Tiefen der Markplatte, vorzugsweise aber in der Schicht, welche an den Randschleier anstösst. Bezeichnend für dieselben, gegenüber den Epithelzellen, sind ihre gerundeten Kerne und ihre unregelmässig zerstreute Lagerung. Das Protoplasma pflegt auf einer Seite des Kerns, in der Regel auf der äusseren, etwas reichlicher angehäuft zu sein und es ist hier auch stärker tingirbar als am Gegenpole, daher die Zellen nach dieser einen Seite hin meistens einen dunklen Hof zeigen. Letztere Eigenschaft haben sie mit den Uebergangszellen anderer Wirbelthiere gemein, im Uebrigen ist ihre Form noch keine feste. Einige sind am protoplasmareichen dunkleren Ende etwas verjüngt, für andere gilt gerade das Umgekehrte, ihr dunkleres Ende ist das breitere.

Neben diesen Zellen, deren Beziehung zur Nervenbildung nur mittelbar zu erschliessen ist, finden sich, wenn auch erst in geringen Mengen, ganz unzweifelhafte Neuroblasten, d. h. Zellen von Birnenform, welche nach der einen Seite hin in eine Faser auslaufen. Diese Zellen (Fig. 38 und 39) treten in der vorderen Markhälfte auf, hier finde ich sie theils vereinzelt zwischen den anderen Elementen liegend, theils, zu kleineren Gruppen vereint, an der ventralen Kante des Rückenmarks. An letzterer Stelle durchbrechen ihre Spitzen die Markoberfläche und einzelne Zellen überragen die letztere vollständig oder doch mit einem Theil ihrer Länge. Zu der Zeit liegen die Muskelplatten der Urwirbel oder die Myotome dem Rückenmark beinahe unmittelbar an, sie bestehen aus niedrigen, nach Art eines cubischen Epithels aneinander gereihten Zellen. Die Neuroblastenfortsätze sieht man in die betreffende Zellenschicht unmittelbar eintreten und zwischen deren Elementen sich verlieren. Wir haben in solchen Bildern die motorischen Nerven in statu nascenti vor uns und entnehmen daraus die wichtige Thatsache, dass die ersten aus dem Rückenmark hervorbrechenden motorischen Fasern auf kürzestem Wege ihr Endgebiet erreichen.

Auf der eben besprochenen Stufe ist die Zahl der das Rückenmark umgebenden Bindegewebszellen noch eine sehr geringe; immerhin sind (Fig. 39) deren einzelne vorhanden, welche sich theils

dorsal-, theils ventralwärts von der motorischen Wurzel in die vorhandenen Gewebsspalten einlagern. Die nächstfolgenden von mir untersuchten Stufen, Embryonen von $5^1/_2$ und von 6 mm Körperlänge, zeigen in der Hinsicht einen etwas grösseren Reichthum (Fig. 40 und 41) und zwar liegen die Zellen zum Theil frei im Gewebe herum, zum Theil haben sie sich den Wurzelstämmchen als Scheide zugesellt. Die Ausläufer der Bindegewebszellen erscheinen in der Zeit vielfach als ziemlich breite, abgerundet auslaufende Streifen. Constant findet sich eine kleine Gruppe von Zellen dorsalwärts von den austretenden motorischen Wurzeln, und auf nachfolgenden Stufen liegt an dieser Stelle ein longitudinales Blutgefäss, als dessen Vorläufer jene Zellen anzusehen sind (*C* der Figuren 40—44).

Auch bei den Embryonen von $5^1/_2$ und 6 mm sind an der ventralen Kante des Rückenmarks in der Gegend austretender Wurzeln kleine Gruppen von Neuroblasten nachzuweisen, deren Fortsätze, aus dem Mark hervortretend, in den Wurzelstamm eintreten. Mein vorjähriger, von Beard angefochtener Holzschnitt hat dies Verhältniss schon völlig correct wiedergegeben, und in den Figuren 40—42 des diesmaligen Aufsatzes lege ich einige fernere Beispiele vor. Die drei Figuren 40—42 zeigen etwas verschiedene Lagerung der Neuroblasten: bei Fig. 40 sind wenigstens die äussersten Zellen bis dicht an den Rand des Marks herangerückt, und ihre Fortsätze treten ganz direct in den Wurzelstamm ein. Der letztere ist auf grössere Entfernung hin isolirt zu verfolgen, und es zweigt sich von ihm ein zwischen die Myotomzellen eintretender Ramus dorsalis ab. Bemerkenswerth ist dabei die gekreuzte Richtung der Fasern: die dem Ramus dorsalis zustrebenden Fasern kommen von ventralwärts stehenden, die in den Ramus ventralis übergehenden von dorsalwärts gelagerten Zellen. Ausser den fertigen Neuroblasten enthält der Rückenmarksdurchschnitt auch Keimzellen und Uebergangszellen, letztere von eiförmiger Gestalt.

Bei dem Fig. 41 gezeichneten Schnitte treten die drei Neuroblastenfortsätze getrennt in einen den Wurzelstamm umgebenden dichten Zellencomplex ein, und sie nehmen ihren Weg auf eine kurze Strecke weit durch den Randschleier hindurch. Noch breiter ist die von den Fasern durchlaufene Zwischenzone bei Figur 42. Der Randschleier spitzt sich hier etwas zu, indem er das austretende

Wurzelstämmchen eine Strecke weit begleitet. Letzteres ist auch hier wieder in grösserer Ausdehnung nackt zu verfolgen und tritt weiterhin zwischen Bindegewebszellen ein, von denen die einen longitudinal, die anderen quer zu dessen Verlaufsrichtung gestellt sind. Aehnliche Verhältnisse zeigt der Figur 43 abgebildete Schnitt, welcher von einem 8 mm langen Pristiurusembryo stammt. Auch hier ist der Uebergang von Neuroblastenfasern durch den Randschleier hindurch in den Wurzelstamm hinein zu verfolgen, und letzterer wird von unregelmässig gelagerten Bindegewebszellen umgeben. Von einem noch älteren c. 14 mm langen Embryo stammt der Schnitt, welchen Fig. 44 wiedergiebt. Hier ist der Randschleier nicht unerheblich breiter als zuvor, und an seiner Innenseite sitzt eine zellenhaltige Intermediärschicht. Das Mark enthält bereits reichliche reife Neuroblasten, welche sich von den unfertigen Zellen und von den Spongioblasten durch ihre grossen blassen Kerne auf den ersten Blick unterscheiden. Sie sammeln sich zu einer besonderen Mantelschicht und ihre Fortsätze treten mit mehr oder minder schrägem Verlauf in die Intermediärschicht ein. Das in diesem Schnitte sichtbare Wurzelstämmchen ist auf eine lange Strecke frei liegend, nur an einigen Stellen von Bindegewebszellen überlagert. An seiner Austrittsstelle aus dem Mark treffen verschiedene Faserbüschel convergirend zusammen. Einige derselben stammen direct aus der Intermediärschicht und sind durch den Randschleier hindurch nach ihr zurück zu verfolgen; andere kommen aus höher oder tiefer liegenden Gebieten und man sieht dieselben schon in den äusseren Zonen des Randschleiers mit Durchschnittsflächen endigen.

In der zuletzt betrachteten Zeichnung, gleichwie in einigen früheren, ist ein Verhältniss erkennbar, das sehr häufig wiederkehrt. Zwischen dem Rückenmark und dem kernhaltigen Abschnitte des motorischen Stammes ist, auf eine kurze Strecke weit, das aus dem Rückenmark hervorgegangene Wurzelbündel als dünner kernfreier Strang sichtbar. Gegen diese nackte Strecke des Stämmchens pflegt sich der kernhaltige Theil mit einer oft sehr dicken Anschwellung abzusetzen (Fig. 41). Diese Anschwellung scheint es zu sein, welche neuerdings v. Wijhe[1]) als eine ganglienartige beschrieben hat. Er giebt

1) v. Wijhe, No. 17, S. 76.

an, dass dieselbe viel mehr Nervenfäden nach der Peripherie entsendet, als sie aus dem Rückenmark erhält. Letzeres Verhalten, das man auch aus meiner Figur 44 erschliessen könnte, findet seine natürliche Erklärung in dem Umstand, dass ein Schnitt, welcher den Stamm seiner Länge nach streift, von den Wurzelbündeln nur einen Theil treffen kann, nur diejenigen, welche aus derselben Höhe des Marks stammen. Die übrigen, die von oben herab oder von unten herauf in den Stamm gelangt sind, fallen nicht in die Schnittfläche.

Die betreffende Anschwellung der Nervenstämme, bald nach ihrem Austritte aus dem Rückenmark, verdankt ihren Ursprung ausausschliesslich der Anhäufung von Bindegewebszellen. Diese gruppiren sich in den verschiedensten Richtungen, quer, schräg und longitudinal um das Faserbündel herum. Letzteres ist an allen Schnitten, die dasselbe bloslegen, inmitten der Scheidezellen als ein kernfreier und in der Regel deutlich längsgestreifter Strang von seiner Umgebung scharf gesondert. Schnitte, welche Nervenstämmchen quer treffen, zeigen das kernfreie, axial gelegene Faserbündel von kernhaltigen Zellen oftmals in vollem Kreise umgriffen. So mannigfach überhaupt je nach der Schnittrichtung die Bilder sind, unter welchen die austretenden Wurzeln und Stämme sich darstellen, so lassen sie doch alle nur die eine Deutung zu, dass der extramedulläre Nervenstamm aus zwei Bestandtheilen besteht, einem kernlosen faserigen, der aus dem Marke stammt und einem aus kernhaltigen Zellen bestehenden, dessen Ableitung auf die das Gewebe durchsetzenden Bindegewebszellen zurückführt.

Bilder und Beschreibungen könnten leicht noch mehr gehäuft werden, aber das Mitgetheilte wird, wie ich hoffe, genügen, um einem jeden unbefangenen Beurtheiler die Ueberzeugung beizubringen, dass die Selachier hinsichtlich der Entwickelung ihres Rückenmarks und ihrer motorischen Nerven nicht aus der Reihe der übrigen Wirbelthiere heraustreten, und dass auch bei ihnen die motorischen Wurzelfasern als Fortsätze bestimmter, dem Rückenmark angehöriger Zellen entstehen. Die ersten nervenbildenden Zellen können die Oberfläche des Marks, theilweise oder ihrer ganzen Länge nach überschreiten. Dies Verhalten steht für Selachier nicht isolirt da, denn wie oben hervorgehoben worden ist (S. 347), so können auch beim menschlichen Embryo auf jüngeren Entwickelungsstufen die

Spitzen motorischer Nervenkerne den Randschleier durchbrechen und denselben mit einzelnen Zellen eine Strecke weit frei überragen. Es handelt sich hierbei um eine vorübergehende Erscheinung, denn auf späteren Stufen findet man an dem einen, wie am anderen Object den Randschleier um die motorischen Zellengruppen herum wieder geschlossen. Der Schluss geht von den Rändern der Durchbruchsöffnung aus vor sich. Dies ergiebt sich aus der früher beschriebenen Thatsache, dass auf den Stufen von 6—8 mm Länge der Randschleier dem hervortretenden Wurzelbündel mit Zuschärfung angelagert erscheint.

Die Möglichkeit, dass bei Haifischen einzelne Zellen den Rückenmarksverband bleibend verlassen, ist a priori natürlich nicht abzulehnen, und wenn ein so erfahrener Beobachter wie A. Dohrn dafür eintritt, so bedarf dessen Angabe aller Beachtung. Ich besitze meinerseits keine Erfahrungen, welche auf einen bleibenden Uebergang von Nervenzellen in vordere Wurzeln zu beziehen sind. Ich finde die Nervenstämmchen, insoweit dieselben von ihrer Scheide unbekleidet sichtbar sind, von parallelen Rändern eingefasst, ohne locale Auftreibungen und ohne Einlagerung von Nervenzellen. Wenn in der That ein bleibender Austritt von Zellen aus dem Rückenmark heraus in die motorischen Wurzeln herein stattfindet, so muss der Nachweis der ausgetretenen Elemente gerade auf vorgerückteren Stufen keine Schwierigkeiten bieten, denn das histologische Verhalten der Nervenzellen ist um so bestimmter ausgeprägt, je entwickelter dieselben sind. Die reifen Nervenzellen der Mantelschicht von echten Bindegewebszellen oder auch von Spongioblasten zu unterscheiden, ist schon bei Embryonen von 9—15 mm Länge nicht mehr schwer, weil jene durch ihren blassen chromatinarmen Kern und ihren feinkörnigen Zellenleib eine ganz besondere Stellung einnehmen. Auf vorgerückteren Stufen der Entwickelung hat meines Wissens bis jetzt kein Beobachter echte Nervenzellen innerhalb einer motorischen Wurzel nachgewiesen.

Nachtrag zu obigem Abschnitte.

Seitdem ich obige Beobachtungen über die Rückenmarksentwickelung bei Haifischen niedergeschrieben und die zugehörigen Zeichnungen entworfen habe, ist ein neuer Aufsatz von A. Dohrn

erschienen, welcher die Frage von der Bildung der motorischen Nerven zum besonderen Gegenstande hat[1]). Ich stelle zunächst mit Befriedigung fest, dass wenn auch Dohrn wiederholt gegen mich polemisirt, seine Beobachtungen mit den meinigen nirgends in Widerspruch stehen. Unsere beiderseitigen Zeichnungen decken sich zum Theil beinahe vollständig (man vergl. z. B. Dohrn's Figur 3 mit meiner Figur 40) und die Differenzen im Text sind nirgends unüberwindlicher Natur. Ich glaube meinerseits ziemlich Alles gesehen zu haben, was Dohrn beschreibt, aber meine eigenen Beobachtungsergebnisse gehen, vielleicht in Folge geeigneterer Färbmethoden, in manchen Punkten über diejenigen von Dohrn hinaus, besonders gilt dies von den Beobachtungen über das intramedulläre Verhalten von Zellen und von Fasern.

Dohrn beschreibt die neu entstehenden motorischen Wurzeln als »homogene ungeformte plasmatische Ausflüsse des Medullarrohres«. Eine Beziehung einzelner Fasern zu einzelnen Zellen wird in seiner Darstellung nicht ausgesprochen, und wenn ich ihn recht verstehe, so nimmt er an, dass zunächst eine ungesonderte Masse auftritt, innerhalb deren es erst nachträglich zur Scheidung von Fasern kommt. Den Ausdruck »Protoplasmafaden« oder »Protoplasmaausfluss« auf in Bildung begriffene Nervenfasern anzuwenden, halte ich zwar für zulässig, dagegen muss ich, wie man aus meiner ganzen bisherigen Darstellung entnehmen wird, die Auffassung verwerfen, als ob ein Nervenstamm zu irgend einer Zeit seines Bestehens eine ungesonderte Masse wäre, er setzt sich vielmehr aus einzelnen Fasern zusammen, deren jede als der Fortsatz einer besonderen Zelle entstanden ist. Einen solchen Fortsatz bezeichne ich von früh ab als Axencylinder und ich glaube dazu ein volles Recht zu haben, denn derselbe entspricht anatomisch eben dem Gebilde, das wir auch an den ausgebildeten Nervenzellen als Axencylinderfortsatz bezeichnen. Von secundärer Bedeutung erscheint dabei die Frage, in welchem Zeitpunkt die innere fibrilläre Structur des jungen Axencylinders auftritt. Die Beobachtungen an den Neuroblasten des Menschen, der Forelle u. a. mehr zeigen übrigens, dass diese Structur sich innerhalb des Ansatzconus schon früh anlegt.

---

1) A. Dohrn, No. 15, S. 441.

Dohrn betont mir gegenüber, dass die Nerven entstehen, bevor weisse Substanz da ist. Bei Erörterung dieser Differenz ist zunächst der Begriff von embryonaler weisser Substanz aufzuklären. Im ausgebildeten Mark besteht die weisse Substanz aus einem Gerüst und aus den von dem Gerüst umschlossenen Nervenfasern. Für das Gerüst der weissen Substanz hat es bis jetzt keine besondere Bezeichnung gegeben und ich habe daher in diesem Aufsatz die Bezeichnung »Randschleier« dafür vorgeschlagen. Die Bildung desselben geht derjenigen von Faserzügen lange voraus, ja in gewissem Sinne besteht das Gerüst der weissen Substanz von allerfrühester Zeit ab, denn dasselbe ist nichts Anderes, als die umgewandelte Substanz der äusseren Epithelialleiber. Die motorischen Nervenfasern entstehen erst, nachdem ein mehr oder minder ausgebildeter Randschleier vorhanden ist, sie entstehen aber nicht später als die Längsfaserzüge der weissen Substanz. Beschränkt man, wie dies an und für sich ganz gerechtfertigt ist, den Ausdruck weisse Substanz auf das Ganze, auf Gerüst und Fasern zusammengenommen, so hat Dohrn ein Recht zu sagen, die motorischen Nerven seien beim Haifisch früher entstanden, als die weisse Substanz.

Auch das kann ich zugeben, dass meine älteren Beobachtungen vom Jahre 1880 über Nervenentwickelung bei Selachiern nicht auf genügend junge Stufen zurückgegriffen hatten. Diesem Mangel, der im Grunde ein Mangel an Material war, habe ich aber in seitherigen Publicationen abgeholfen[1]) und es ist nicht richtig, wenn Dohrn bemerkt, meine späteren Arbeiten enthielten nur eine auf Sagemehl sich berufende Aufrechthaltung früherer Angaben. Auch hätten meine so klaren und eindeutigen Beobachtungen über die Nervenentwickelung bei menschlichen Embryonen in einer vergleichend-embryologischen Arbeit eine ausdrückliche Berücksichtigung wohl beanspruchen dürfen.

Besonders wichtig erscheint es mir, dass Dohrn seine Beobachtungen über den Austritt von Nervenzellen aus dem Rückenmark eingehend mittheilt. Dieselben stimmen, wie ich ersehe, mit den meinigen in den entscheidenden Punkten völlig überein. In sehr zutreffender Weise beschreibt Dohrn, wie die Zellen nach der ventralen Kante des Rückenmarks hin sich zusammendrängen, wie sie

1) No. 4, S. 393.

sich hier verlängern und verschmälern und wie sodann an dieser Kante einzelne Zellen das Mark zur Hälfte überragen. Dohrn drückt sich dahin aus, dass diese Zellen »in das ausgetretene Plasma der Nervenwurzel« eintreten[1]). An eben dieser Kante hat Dohrn auch Mitosen von Rückenmarkszellen beobachtet.

Ueber das Schicksal der in motorische Nervenstämme eingetretenen Zellen vermag Dohrn keine weitere Auskunft zu geben, sie sind später nicht mehr als solche aufzufinden. Ich constatire dieses negative Ergebniss und zugleich auch, dass Dohrn den Uebertritt von einzelnen Zellen über die Rückenmarksgrenze hinaus nur in den sehr frühen Perioden erster Nervenbildung aufgefunden hat. Ich habe oben meine Ueberzeugung dahin entwickelt, dass diese Zellen nur vorübergehend die Markoberfläche überschreiten, dass sie später wieder vom Randschleier umwachsen werden, und ich finde mich nach dem Studium der Dohrn'schen Beobachtungen in dieser meiner Ueberzeugung nur bestärkt. Wäre die Sache anders, so müsste der Vorgang nothwendig zur Bildung motorischer Ganglien führen, welche Dohrn ebenfalls auf das bestimmteste verwirft.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussbetrachtungen.

Ich fasse die Ergebnisse meines Aufsatzes in Nachfolgendem nochmals zusammen:

1) Auf sehr frühen Entwickelungsstufen hat die Markplatte den Charakter eines einfach geschichteten Epithels (in dem Sinn von Hensen)[2]). Zwischen den inneren Abschnitten der Epithelzellen liegen runde, zum grossen Theil in Karyokinese begriffene Zellen, die Keimzellen.

2) Die Epithelzellen ordnen sich allmählich zu mehrfachen Schichten, in der Weise, dass die kernhaltigen Theile der Zellenleiber sich verschränkt lagern, während die kernfreien Enden nicht aufhören, der einen und der anderen Oberfläche zugekehrt zu sein.

1) l. c. S. 453.

2) Hensen, No. 7, S. 382.

3) Die Epithelzellen wandeln sich durch einen inneren Umbildungsprocess in Spongioblasten und in ein mit diesen verbundenes Markgerüst um. Es scheiden sich innerhalb der einzelnen Zellen eine geformte, fadenförmig sich anordnende und eine durchsichtige weiche Substanz. Erstere wird zum Markgerüst, indem die Bestandtheile benachbarter Zellen untereinander Verbindungen eingehen. An der Innenfläche bildet sich aus der geformten Substanz die als Netz sich anlegende innere Grenzhaut. Aussen sammelt sich die Substanz zu einer dickeren Platte, dem Randschleier, der durch eine äussere Grenzhaut noch einen besonderen Abschluss bekommen kann.

4) Im ausgebildeten Zustand sind am Markgerüst eine innere, eine mittlere und eine äussere Abtheilung zu unterscheiden. Erstere, die Säulenschicht, pflegt aus Radiärfasern zu bestehen, welche in der Verlängerung von Spongioblastenleibern liegend, sich an ihrem inneren Ende verbreitern oder zertheilen und in die innere Grenzhaut ausstrahlen. Die mittlere Abtheilung des Markgerüstes, die Kernzone, enthält die kernhaltigen Leiber der Spongioblasten. Diese sind in zwei oder mehr Schichten angeordnet und jede Zelle entsendet mindestens zwei, häufig aber auch mehr Ausläufer. Auch innerhalb dieser Schicht bilden radiäre Fasern den Hauptbestandtheil, sie können aber ihrerseits durch Quersprossen oder durch schräge Fasern unter einander zusammenhängen. Die äussere Abtheilung des Markgerüstes ist kernlos, radiäre Balkensysteme pflegen auch in ihr zeitlebens erkennbar zu sein, im Uebrigen besteht sie aus einem Netzwerk von feinen, unter sich auf das mannigfachste verbundenen Bälkchen.

Im Ganzen und Grossen zerfällt sonach das Markgerüst in einen grobmaschigen, die Säulenschicht und die Kernzone umfassenden Theil und in den engmaschigen Randschleier.

5) Es liegt kein Grund vor, in dem einmal angelegten Markgerüst eine nachträgliche Vermehrung der Spongioblasten anzunehmen, dagegen wachsen die Bestandtheile des Gerüstes stetig. Der von dem Gerüst eingenommene Raum wird grösser und die einzelnen Maschen, sowohl die der inneren Schichten, als die des Randschleiers, nehmen an Weite zu.

6) Das auf die innere Grenzhaut folgende, von Radiärfasern durchzogene Raumsystem der Säulenschicht bildet die Hauptlagerstätte der Keimzellen. Von der Ausgiebigkeit dieses Raumsystems und von der Menge der gleichzeitig vorhandenen Keimzellen scheint es abzuhängen, ob diese letzteren auch in andere Schichten vordringen. So finden sich z. B. bei jungen Haifischembryonen Zellen vom Charakter von Keimzellen vorübergehend bis an die Grenze des Randschleiers. Von den Epithelzellen unterscheiden sich die Keimzellen von früh ab durch ihre Form und in der Regel auch durch den abweichenden Charakter ihres Zellenprotoplasmas.

7) Aus der Theilung von Keimzellen entstammen die Elemente, welche zu embryonalen Nervenzellen oder Neuroblasten werden. Die betreffenden Zellen strecken sich in die Länge, ihr Protoplasma zieht sich nach der einen Seite hin zu einem, Anfangs kurzen, dann aber länger werdenden Fortsatz aus, dem Axencylinderfortsatz. Diese Umbildung geht mit Veränderungen in der Vertheilung der Chromatinsubstanzen in Kern und Zellenleib vor sich. Der reife Neuroblastenkern erscheint chromatinärmer als der Kern der Keim- und als derjenige der Uebergangszelle. Vorübergehend kommt es auch zu einer besonderen Anhäufung färbbarer Substanzen in dem auswachsenden Theile des Protoplasmas. Es kann der Kern zeitweise seine Form verändern. Während die Neuroblasten sich ausbilden, entwickelt sich in ihrem Innern eine fibrilläre Structur, welche in dem Ansatzkegel des Axencylinders am deutlichsten hervortritt.

8) Während ihrer Umbildung zu Neuroblasten (oder bei manchen Thieren vielleicht schon vorher) verlassen die Zellen den Ort ihrer Bildung und rücken aus der innersten Markschicht nach aussen bis an die Grenze des Randschleiers. Hier sammeln sie sich zunächst zu einer mehr oder minder selbständig sich abgrenzenden Lage, der Mantelschicht. Die schärfste Abgrenzung dieser Schicht besteht in der Zeit bald nach dem Auftreten der ersten Neuroblasten. Später mit Zunahme der letzteren verwischen sich die Grenzen der Mantelschicht.

9) Durch die Auswanderung der zu Neuroblasten werdenden Keimzellen entleert sich allmählich das Raumsystem der Säulenschicht, und die inneren Spongioblasten bekommen eine freiere Lage.

Später rücken die getrennten Elemente dichter zusammen und schliessen sich zur sogenannten Epithelschicht des Centralkanals an einander.

10) Die jungen Neuroblasten besitzen Birnenform, das eine Ende wird von dem ovalen Kern ausgefüllt, das andere setzt sich durch ein conisches Ansatzstück in den Axencylinder fort. Zur Zeit ihrer Entstehung und noch geraume Zeit später besitzen die Neuroblasten keine anderen Ausläufer als den einen Axencylinder.

Von den im Rückenmark entstehenden Neuroblasten sendet ein Theil seine Axencylinder in die vorderen Nervenwurzeln, ein anderer in die vordere Commissur und in die Längsstränge des Marks. Es giebt keine andere Entstehungsweise für vordere Wurzelfasern als die bezeichnete aus Rückenmarksneuroblasten.

11) Die Epithelzellen und das aus diesen hervorgehende Markgerüst sind das primär Vorhandene. Die Nervenzellen und die Nervenfasern entwickeln sich erst später, und deren Lagerung und Ausbreitung wird durch das vorhandene Gerüst beeinflusst. Dem letzteren kommt somit eine Bedeutung für die Organisation des Centralnervensystems zu, welche über diejenige eines mechanischen Stützgerüstes weit hinausgeht. Dies gilt zunächst für die gröbere, aber sicherlich auch für die feinere Vertheilung und Ausbreitung der Nervenzellen und Nervenfasern. Das weitmaschige Raumsystem der Kernzone dient als Lagerstätte der Nervenzellen, es wird zum Ort der grauen Substanzentwickelung. Der Randschleier dagegen, als eine Art von Filter wirkend, gestattet nur den Fasern Durchtritt, und er wird hierdurch zum Lager für die sich bildende weisse Substanz. Bei gewissen Thieren kommt es in frühen Perioden zu einem Hervordringen vereinzelter Nervenzellen in den Randschleier, und diese erscheinen später mitten in die weisse Substanz eingebettet.

12) Die Vorgänge der Gerüst- und der Neuroblastenentwickelung differiren bei den verschiedenen Classen cranioter Wirbelthiere nur in untergeordneten Nebenpunkten. Es bestehen Verschiedenheiten hinsichtlich der Grösse und der Zusammendrängung der Elemente, sowie hinsichtlich des zeitlichen Ineinandergreifens von Gerüst- und Neuroblastenentwickelung. Daraus ergeben sich Unterschiede in der Klarheit, mit welcher sich jeweilen die Verhältnisse bei den einzelnen Thieren überschauen lassen, wie andererseits auch die verschiedenen

Altersstufen von Embryonen derselben Species sehr verschieden übersichtliche Bilder gewähren.

Es mag mir verstattet sein, an die eben gegebene Uebersicht meiner Ergebnisse uoch einige Betrachtungen allgemein anatomischer Natur anzuschliessen.

Als ein besonders bedeutsames Ergebniss sehe ich die ursprünglich einseitige Entwickelung aller centralen Nervenzellen an. Jeder Neuroblast verlängert sich in einen Axencylinder, welcher von seiner Ursprungszelle aus in einen bestimmten Endbezirk vordringt. Um ein Erhebliches später kommt es zum Hervorsprossen von neuen Fortsätzen, welche sich unter zunehmender Verzweigung in der Umgebung der Zellen ausbreiten. Dendritenfasern oder Dendriten können wir sie im Gegensatz zu den Axenfasern nennen, um nicht jedesmal ein Adjectiv zu ihrer Bezeichnung nöthig zu haben.

Die Zellen der Spinalganglien wachsen in zwei nach entgegengesetzter Richtung verlaufende Axenfasern aus und mit diesem einmaligen Bildungsprocess hat die Aussendung von Zellenausläufern ihr Bewenden. Der kernhaltige Leib dieser Zellen entfernt sich mehr und mehr von dem gemeinsamen Axengebiet der beiden Fasern, und die letzteren gewinnen dadurch den Charakter einer einheitlichen Bildung, die Zelle aber denjenigen eines seitlichen Anhangs der sensibeln Faser.

Zu den Axenfasern gehört Alles, was wir kurzweg Nervenfasern nennen, zunächst also sämmtliche in das peripherische Nervensystem übergehenden Wurzelfasern, sowie alle faserigen Bestandtheile der weissen Substanz von Gehirn und Rückenmark und diejenigen des sympathischen Systems. Für alle diese Fasern handelt es sich darum, die betreffenden Ursprungszellen aufzufinden. Diese Aufgabe können wir im Ganzen und Grossen für die motorischen und für die sensibeln Wurzelfasern als gelöst betrachten, wogegen für eine Mehrzahl von centralen Faserbahnen die Aussonderung der Ursprungsgebiete noch zu vollziehen ist. Die entwickelungsgeschichtliche Forschung kann an dieser Aufgabe deshalb erfolgreich arbeiten, weil es sich herausstellt, dass die einzelnen Bahnsysteme nicht gleichzeitig entstehen, und dass sie sich von ihrem Ausgangspunkte aus

mit einer gewissen Langsamkeit nach entlegenen Orten vorzuschieben pflegen. Nehmen wir als Beispiel einen bestimmten Bezirk, etwa den Querschnitt der Medulla oblongata im Bereich der Rautengrube, so liegen hier Faserbahnen, welche im Querschnitt selbst entspringen, andere die aus geringer, andere die aus grösserer Entfernung herkommen. Zu den Fasern der ersten Art gehören die motorischen Wurzelfasern von Hypoglossus, Vagus und Glossopharyngeus, zu den aus mässiger Entfernung kommenden die im Tractus solitarius vereinigten sensibeln Bahnen von Glossopharyngeus und Vagus, zu den aus weiter Entfernung herbeiziehenden die aus den Grosshirnhemisphären stammenden Pyramidenbahnen. Die motorischen Wurzelfasern von Hypoglossus u. s. w. sind im Markquerschnitte zu einer Zeit sichtbar, wo die übrigen genannten Bahnen noch nicht vorhanden sind. Von den sensibeln Bahnen erscheint der aus geringer Entfernung stammende Tractus solitarius früher, als die aufsteigende Trigeminuswurzel, und zuletzt von allen Faserbahnen treten bekanntlich, nach Flechsig's Entdeckung, die Pyramidenbahnen auf. Die Reihenfolge des Eintritts der Bahnen in den betreffenden Bezirk bedingt aber wieder deren relative Lagerung: Die später erscheinende aufsteigende Trigeminuswurzel liegt weiter nach auswärts, als der Tractus solitarius, und am oberflächlichsten lagern sich die zuletzt erscheinenden Pyramiden.

Die Axenfasern verlaufen ungetheilt nach ihrem Endbezirk, hier angelangt, können sie auch ihrerseits sich baumförmig verästeln, oder sie können ungetheilt aufhören. Verzweigte peripherische Enden zeigen z. B. die motorischen Axencylinder innerhalb der Nervenendhügel der Muskeln, sowie die sensibeln Fasern im epithelialen Endbezirk der Hornhaut und des Rete Malpighi. Mit ungetheilten Enden laufen die sensibeln Fasern der Pacini'schen Körper und der Krause'schen Endkolben aus. Bezeichnend für die Dendritenfasern gegenüber den Axenfasern ist nicht sowohl ihre Theilung überhaupt, als ihre Theilung in kurzem Abstande von der Ursprungszelle.

Durch ihre Axenfaser steht die centrale Nervenzelle mit einem mehr oder minder entlegenen, bestimmt umgrenzten Endbezirk in Verbindung. Vermittelst ihrer Dendritenfasern verbreitet sie sich in mehr diffuser Weise über einen ihre Umgebung bildenden Bezirk. Den letzteren werde ich im Gegensatz zu den Axenbahnen als

Zuleitungsbezirk bezeichnen. Benachbarte Zellenbezirke greifen in einander über und können sich zu grösseren Gesammtbezirken combiniren[1]).

Eine physiologische Gesammtbahn kann sich aus verschiedenen Axenbahnen zusammensetzen. Die Willensbahn vom Grosshirn zum Muskel enthält als Elemente die Axenbahnen der Pyramidenzellen der Hemisphären und diejenigen von den motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks. In der physiologischen Reflexbahn von der Haut zum Muskel sind sensibele und motorische Axenbahnen mit einander combinirt. Die physiologischen Verknüpfungen verschiedener Axenbahnen geschehen wohl in allen Fällen durch Einschaltung von Zuleitungsbezirken. Zwischen die Axenbahnen der Pyramiden und die der motorischen Wurzeln sind die Zuleitungsbezirke der Vorderhornzellen eingeschoben, und erst durch deren Vermittelung wird die vom Gehirn übertragene Erregung den motorischen Zellen und den von diesen abgehenden Fasern zugeführt. In derselben Weise verknüpfen sich wohl auch die Reflexbahnen dadurch, dass die in das Mark eintretenden sensibeln Fasern in die Zuleitungsbezirke motorischer Zellen gelangen und diese in ihren Wirkungsbereich mit aufnehmen.

Seit Gerlach's Arbeiten geht die herkömmliche Vorstellung dahin, dass die Dendritenfasern motorischer Zellen sich zu terminalen Netzen verbinden, in welche von der anderen Seite her die gleichfalls sich theilenden sensibeln Fasern eintreten. In einem früheren Aufsatze[2]) habe ich darauf hingewiesen, dass die Annahme eines freien Auslaufens der Zellenverzweigungen entwickelungsgeschichtlich wahrscheinlicher und physiologisch eben so annehmbar ist, als die Vorstellung netzförmiger Verbindungen. Auch stimmt dieselbe mit den bekannten Bildern Golgi'scher Präparate. Seitdem hat nun

---

1) Gern hätte ich statt des Wortes »Axenbahn« den Ausdruck »lange Bahn« gebraucht, allein derselbe ist schon anderweitig verwendet. Lange Bahnen im Sinn der Hirnanatomen sind solche, welche aus dem Rückenmark zum Gehirn heraufsteigen (Pyramidenbahn, Kleinhirnseitenstrangbahn und Goll'scher Strang). Kurze Bahnen nennt man die Verbindungen unter den verschiedenen Stockwerken des Rückenmarks. Auch die letzten Verbindungen sind in meinem Sinn Axenbahnen.

2) No. 2, S. 514.

A. FOREL[1]) dieselbe Annahme von einem freien Auslaufen der verzweigten Fortsätze zu begründen gesucht. Ich berühre die Frage nur im Vorbeigehen, denn ich habe dem vor zwei Jahren hierüber Gesagten nichts Wesentliches beizufügen.

Wenn eine physiologische Gesammtbahn, wie z. B. die Bahn vom Grosshirn zu einem Muskel anatomisch unterbrochen erscheint, so liegt die Bedeutung dieses Verhaltens nicht in der Einschaltung einer Zelle als eines angeblichen Actionscentrums, sondern in der Einschaltung eines Leitungsbezirkes an Stelle einer einfachen Leitungsbahn. Die Spinalganglien bieten das Beispiel von Zelleneinschaltung in im Uebrigen ungetheilte Längsbahnen, und es liegt in diesem Fall kein Grund vor, den Zellen eine für den Leitungsvorgang irgendwie tiefergreifende Bedeutung zuzuschreiben. Ganz anders stellt sich die Sache da, wo ein dendritischer Leitungsbezirk einer physiologischen Bahn eingeschaltet ist. Da ist die Möglichkeit geboten, dass innerhalb des Bezirkes die vielfältigsten Nebenvorgänge gleichzeitig ablaufen. Die zugeleitete Erregung kann, anstatt auf eine Zelle, auf ganze Zellengruppen sich ausdehnen, es können gleichzeitig Einwirkungen auf Collateralbahnen, auf vasomotorische Bahnen und dergleichen mehr stattfinden. Es strömt, wenn ich mich eines groben Bildes bedienen darf, die Erregung in ein Becken, von dem verschiedene Abflussbahnen ausgehen, und die Betheiligung dieser verschiedenen Abflussbahnen an der Weiterleitung der Erregung wird ihrerseits bestimmt durch die Mächtigkeit des Zuflusses und durch die relativen Grössen der Widerstände, welche jeder von den besonderen Abflüssen dem Weiterströmen entgegensetzt. Das Wesen des physiologischen Centrums liegt, ähnlich demjenigen einer administrativen Centralstelle, darin, dass die Möglichkeit eines functionellen Ineinandergreifens sehr mannigfacher Einzelvorgänge geboten wird, wobei den wechselnden Erregungen auch verschiedene Abstufungen der ineinander greifenden Theilvorgänge entsprechen.

Eine jede Axenbahn hat ihren Ursprungs- und ihren Endbezirk. Im ersteren liegen die Zellen, von welchen die Axenfasern entspringen, im letzteren tritt die Bahn in Beziehung zu fremden Bildungen, sei es zu anderweitigen centralen Zellenbezirken, sei es zu

1) FOREL, No. 13, S. 4 u. 5.

peripherischen Endorganen, zu Muskelfasern, zu Sinneszellen oder auch nur zu besonderen bindegewebigen Hüllensystemen. Damit ergiebt sich eine scharfe Bestimmung des Begriffes Nervenkern. Unter einem Nervenkern in strengem Sinn, oder einem Ursprungskerne dürfen wir nur einen solchen Zellencomplex verstehen, von dem aus die betreffenden Axenfasern entspringen. In diesem Sinn sind die motorischen Kerne von Gehirn- und Rückenmarksnerven echte Nervenkerne. Dagegen lässt sich mit der Bezeichnung eines centralen sensibeln Kerns keine klare Vorstellung verbinden, denn die Ursprungszellen der sensibeln Fasern liegen in den Spinalganglien. Ich habe an anderem Ort die Möglichkeit besprochen, dass die hinteren Wurzeln mehr umfassen können, als die aus den Ganglien stammenden sensibeln Fasern[1]). Darauf komme ich hier nicht zurück, ich habe nur die Frage im Auge, ob für die aus Ganglien stammenden Nerven gewisse centrale Stellen eine Bedeutung besitzen, die zur Aufstellung eines modificirten Kernbegriffes berechtigen. So ist daran zu denken, dass ein als sensibler Kern bezeichneter Zellencomplex der Endbezirk sensibler Fasern und gleichzeitig der von Dendritenfasern durchzogene Zuleitungsbezirk neuer Zellen ist. Unter dieser Voraussetzung könnte man von solchen Stellen allenfalls als von sensibeln Endkernen reden. Beispielsweise könnte man vielleicht die Clarke'schen Säulen als die Endkerne hinterer Wurzeln und als die Ursprungskerne von Kleinhirnseitenstrangbahnen ansehen. Indessen bedürfen solche Vorstellungen noch sehr einer sicheren Begründung, und nur insofern ist hier deren Erwähnung erlaubt, als sie eine von den zu prüfenden Möglichkeiten darstellen.

Aus der Bildungsweise der Axenbahnen ergiebt sich aber auch, dass es keine echten Commissuren im Centralnervensystem giebt, d. h. keine Fasern, welche gleichwerthige Zellen beider Seitenhälften gleichartig unter einander verbinden. Alle sog. Commissuren enthalten Bahnen, die entweder in der rechten Hälfte entspringen und in der linken ihren Endbezirk erreichen, oder umgekehrt, d. h. es handelt sich nicht um echte Commissuren, sondern um Bahnkreuzungen.

Die Richtung des Auswachsens einer Nervenfaser steht zu deren

1) No. 3, S. 368.

Leitungsrichtung in keiner nothwendigen Beziehung. Bei motorischen Nerven fällt die physiologische Leitungsrichtung mit der Richtung des Auswachsens zusammen, bei sensibeln Nerven und beim N. acusticus gilt dies nur vom centralen Stumpf, beim peripherischen Stumpf sind sich beide Richtungen entgegengesetzt. Dagegen erfolgt die nach Durchschneidung eines Nerven eintretende secundäre oder die sog. Waller'sche Degeneration stets in der Richtung des Auswachsens, d. h. es entartet der von seiner Ursprungszelle getrennte Nervenstumpf. Der Begriff des sog. trophischen Centrums von Fasern fällt zusammen mit demjenigen ihrer Ursprungszellen. Weniger klar gestaltet sich das Verhältniss der Gudden'schen Degenerationen, jener Zurückbildungen von Nervencentren, wie sie nach Zerstörung peripherischer Apparate eintreten, sowie der Entartungen intracerebraler motorischer Wurzeln in rückläufigem Sinn. Diese Vorgänge scheinen mir zu einer allgemeinen Discussion noch nicht reif und ich glaube, dass deren Verständniss nur aus einem sehr eingehenden histologischen Studium der bezüglichen Veränderungen sich wird gewinnen lassen.

In einer demnächst folgenden Arbeit gedenke ich die Entwickelung des verlängerten Marks zu behandeln, und dabei wird sich Gelegenheit finden, auf manche von den oben erörterten Verhältnissen zurückzukommen und unseren Vorstellungskreis allgemeiner Nervenanatomie noch etwas mehr, als hier geschehen konnte, zu erweitern.

Citirte Litteratur.

1) His, Ueber das Auftreten der weissen Substanz und der Wurzelfasern am Rückenmark menschl. Embryonen. Archiv f. Anat. u. Physiol., anat. Abth., 1883. S. 164.

2) —— Zur Geschichte des menschl. Rückenmarks und der Nervenwurzeln, Abh. d. K. Sächs. Ges. d. Wissensch., mathem.-phys. Klasse. 1886. Bd. XIII, No. VI.

3) —— Zur Geschichte des Gehirns, sowie der centralen und peripherischen Nervenbahnen b. menschl. Embryo., ebendas. 1888, Bd. XIV, No. VII.

4) —— Die Entwickelung der ersten Nervenbahnen beim menschl. Embryo. Uebersichtl. Darstellung u. die morphologische Betrachtung der Kopfnerven, Archiv f. Anat. u. Physiol., anat. Abth., S. 368 u. 379.

5) Merk, Die Mitosen im Centralnervensystem. Wien 1887.

6) W. Müller, Ueber die Stammesentwickelung des Sehorgans der Wirbelthiere in der Festgabe für C. Ludwig. Leipzig 1875.

7) Hensen, Beobachtungen über die Befruchtung u. Entwickelung des Kaninchens und Meerschweinchens. Zeitschrift f. Anat. u. Physiol. 1876, Bd. I.

8) Kölliker, Entwickelungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere. 2. Aufl. 1879.

9) —— Grundriss der Entwickelungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere. 2. Aufl. 1884.

10) H. Gierke, Die Stützsubstanz des Centralnervensystems. Archiv f. mikrosk. Anatomie. 1885, Bd. XXV.

11) Vignal, Sur le dévelopement de la Moelle des Mamifères. Archives de Physiologie normale et pathologique. 1884.

12) Boll, Histiologie und Histiogenese der nervösen Centralorgane. Berlin 1873.

13) Forel, Einige hirnanatomische Betrachtungen und Ergebnisse. Archiv für Psychiatrie. Bd. XVIII.

14) Benda, Untersuchungen über den Bau der functionirenden Samenkanälchen. Archiv f. mikrosk. Anatomie. Bd. XXX, 1887.

15) A. Dohrn, Studien zur Urgeschichte des Wirbelthierkörpers in Mittheilungen der zool. Station zu Neapel. Bd. VIII.

16) Kastschenko, Zur Entwickelungsgeschichte des Selachierembryos. Anatomischer Anzeiger. 1888, S. 465.

17) v. Wijhe, Ueber die Entwickelung des Excretionssystems und anderer Organe bei den Selachiern. Anatomischer Anzeiger. 1888.

18) Beard, Morphological Studies. Anat. Journal of Microsc. Science. 1888, S. 192 u. ff.

19) Balfour, A monograph on the development of elasmobranch fishes. London 1878.

Erklärung der Abbildungen.

Die Figuren sind mit Hülfe des Abbe'schen Zeichnungsapparates aufgenommen und zwar sind sie, abgesehen von den Figuren 3, 6, 16, 34 und 37, mit dem Trockensystem IX von Hartnack bei 1100facher Vergrösserung gezeichnet und nachher unter Benutzung von Oelsystemen weiter ausgeführt. Die Figuren 3 und 34 sind mit System V Hartnack bei 430facher Vergrösserung, und die Figuren 3 und 37 bei ca. 2000facher Vergrösserung mit Oelsystemen gezeichnet, Fig. 3 mit Apochromat 2 mm von Zeiss, Fig. 37 mit einem vorzüglichen Oelsystem von Hartnack.

Fig. 1. *Membrana limitans interna.* Innere Spongioblasten und Keimzellen aus dem Rückenmark vom Embryo *R* (Dorsalhälfte). Die Keimzelle links hat einen ruhenden Kern.

Fig. 2. Ein ähnlicher Schnitt vom Embryo Br_3. Unter den Keimzellen sind zwei mit ruhendem Kern. Die übrigen mit Mitosen.

Fig. 3 (*a* und *b*). Keimzellen aus dem Rückenmark vom Embryo *T*. Apochrom. Zeiss 2 mm. Oc. 8. Vergr. ca. 2000.

Fig. 4. Drei einzelne motorische Neuroblasten aus dem Rückenmark vom Embryo *R*. Die Querlinie bezeichnet die M. limitans meningea.

Fig. 5. Gruppe von motorischen Neuroblasten mit den davon abgehenden Wurzelbündeln. Frontalschnitt des Rückenmarks vom Embryo Br_3. *Lb.* Längsbündel (Vorderstrang). *R.s.* Randschleier.

Fig. 6. Motorischer Trigeminuskern, zum Theil über die Markoberfläche hervortretend. *M.K.* motorischer Kern. *R.s.* Randschleier. *a.W.* aufsteigende Trigeminuswurzel. *M.l.m.* Membrana limitans meningea. *Bz.* Bindegewebszellen. (System Hartnack 5. Vergr. 430.)

Fig. 7. Keimzellen im Uebergang zur gestreckten Form (Stufe 2), durch Zerquetschen isolirt; aus der Medulla obl. vom Embryo Br_3.

Fig. 8. Eine ähnliche Zelle mit ausgezogener Spitze (Stufe 2). Frontalschnitt des Rückenmarks vom Embryo Br_3.

Fig. 9. Aus demselben Präparat, rechts eine runde Keimzelle, links zwei dicht beisammenliegende Uebergangszellen (Stufe 3). Bei allen diesen Keim- und Uebergangszellen vom Embryo Br_3 ist die Chromatinmasse klumpenartig zusammengehäuft.

Fig. 10. Jugendliche Neuroblasten (Stufe 4) aus dem verlängerten Mark desselben Embryo. Dieselben sind stark in die Länge gezogen.

Fig. 11. Neuroblastengruppen aus dem Isthmus vom Embryo *T* (Stufe 4). Der Ansatzkegel der Fasern erscheint dunkel und er verdeckt theilweise das Ende des Zellenkerns.

Fig. 12. Innere Spongioblasten und deren Insertion in die innere Grenzhaut (Säulenschicht) vom Embryo Br_3.

Fig. 13. Säulenschicht der inneren Spongioblastenfortsätze vom Embryo *T*.

Fig. 14. Flachschnitte der Bodenplatte des Rückenmarks vom Embryo *T*. Die M. limitans interna als enges Balkennetz mit einigen von der Seite her sich inserirenden Spongioblasten.

Fig. 15. Flachschnitte derselben Stelle, die das Gebiet der Spongioblastenkerne getroffen hat.

Fig. 16. Spongioblastenbüschel und deren Insertion in die innere Grenzhaut. Dazwischen liegen breite leere Zwischenräume. Embryo der 6. Woche. (*My*). Vergr. 650.

Fig. 17. Kaninchen. Medullarplatte vor erfolgtem Schluss aus Epithelzellen gebildet, zwischen denen rundliche Keimzellen eingeschaltet sind.

Fig. 18. Kaninchen. Medullarrohr im Schluss begriffen. Die Zahl der Epithelkerne hat erheblich zugenommen. Diese liegen in mehrfachen Schichten. An der Innenfläche zwei grosse Keimzellen mit Mitosen.

Fig. 19. Kaninchen. Medullarrohr geschlossen. Zwischen den Epithelzellen liegt eine Keimzelle, welche nach auswärts in eine Spitze ausläuft (Uebergangszelle der 2. Stufe).

Fig. 20. Aus dem eben geschlossenen Rückenmark eines Katzenembryo. Zwischen den inneren Enden des Epithels liegen 4 Keimzellen, wovon 2 kugelige, 2 in Spitzen auslaufende, von den ersteren zeigt die rechts gelegene einen abgeschlossenen Kern.

Fig. 21. Gruppen äusserer Spongioblasten und ihr Uebergang in den Randschleier aus dem Gehirn eines Katzenembryo von 6 mm NL.

Fig. 22. Gruppen von motorischen Neuroblasten und Wurzelbündeln. Die senkrechte Linie bezeichnet die M. limitans meningea. Frontalschnitt eines Katzenembryo von 6 mm NL.

Fig. 23. Durchschnitt durch das Rückenmark des Hühnchens vom Ende des 2. Tages. Epithelzellen, nach beiden Seiten hin sich fortsetzend und in die Grenzschicht sich inserirend, und Keimzellen.

Fig. 24. Gruppe motorischer Neuroblasten aus dem Rückenmark eines Hühnchens vom Beginn des 4. Tages. Der Randschleier ist an der gezeichneten Stelle frei von Längs- und von Bogenfasern.

Fig. 25. Durchschnitte durch das Rückenmark eines Eidechsenembryo von 3 mm NL. Epithelzellen im Uebergang zu Spongioblasten; Grenzschichten und Keimzellen.

Fig. 26. Rückenmark vom Eidechsenembryo. Vordere Wurzelbündel aus der intermediären Schicht und aus Neuroblastengruppen hervortretend.

Fig. 27. Markgerüst aus dem Rückenmark eines Embryo von Salamandra maculata (Querschnitt).

Fig. 28. Neuroblasten aus dem verlängerten Mark desselben Embryo.

Fig. 29. Frontalschnitt des Rückenmarks einer Froschlarve. Markgerüst mit Randschleier und Neuroblasten. Alle Theile sind pigmenthaltig.

Fig. 30. Querschnitt durch das Rückenmark einer Petromyzontenlarve von 6 mm L. Die innerste Kernreihe gehört den Epithelzellen an, nach aussen davon liegen die Neuroblasten, deren Fortsätze man z. Th. in ein vorderes Wurzelbündel eintreten sieht; der Randschleier ist ausnehmend dicht.

Fig. 31. Querschnitt durch das Rückenmark eines Forellenembryo. Spongioblasten, Neuroblasten und Randschleier. Letzterer ist schon von zahlreichen

Längsfaserzügen durchsetzt. In der dorsalen Hälfte sieht man 2 Keimzellen und die Riesenzellen.

Fig. 32. Einzelne Neuroblasten aus dem verlängerten Mark eines Forellenembryo. Der Kern ist zugespitzt, der Protoplasmakegel intensiv gefärbt. Zeichnung mit Oelimmersion.

Fig. 33. Querschnitt durch das Rückenmark eines Pristiurusembryo von $2^1/_2$ cm. Spongioblasten, Neuroblasten, Intermediärschicht und Randschleier.

Fig. 34. Schräg-frontaler Schnitt durch das Rückenmark desselben Embryo. Austritt eines vorderen Wurzelbündels.

Fig. 35. Medullarplatte (Gehirntheil) eines Pristiurusembryo vor erfolgtem Schluss. Länge des Embryo 1,75 mm. Epithelzellen und eine grosse Keimzelle, alle Elemente enthalten Dotterkörner.

Fig. 36. Aehnliches Präparat von einem Pristiurusembryo, unmittelbar nach erfolgtem Markschluss. Länge des Embryo 2,5 mm. Die Epithelzellen sind etwas gestreckter, die Kerne liegen in mehreren Reihen.

Fig. 37. Aus dem Rückenmark eines Pristiurusembryo von $4^1/_2$ mm Länge. Epithelzellen in der Umbildung zu Spongioblasten; bei *Ue* eine Keim- oder Uebergangszelle. (Hartnack Oelimmers. mit starkem Ocular. Vergr. c. 2000.)

Fig. 38 und Fig. 39. Pristiurusembryo von $4^1/_2$ mm Länge. Neuroblasten aus der Markfläche hervorbrechend. *M.* Myotomszellen. *Bd.* Bindegewebszellen.

Fig. 40. Pristiurus von 6 mm Länge. Gruppe von Neuroblasten, ihre Fortsätze an eine vordere Wurzel abgebend. Gekreuzter Verlauf der Fasern, die zum Ramus dorsalis und die zum R. ventralis gehen. *C.* Gruppe von Bindegewebszellen an der Stelle, wo später ein Blutgefäss liegt.

Fig. 41 und 42. Pristiurusembryo von $5^1/_2$ mm Länge. Neuroblasten, deren Fortsätze in Nervenstämmchen übergehen. Bei Fig. 41 treten die Fasern in einen dicken von Bindegewebszellen umhüllten Strang ein. Bei Fig. 42 sieht man den axialen Nervenstrang eine Strecke weit frei verlaufen, ehe er von Bindegewebszellen überlagert wird. Bei beiden Präparaten verlaufen die Wurzelfasern vor ihrem Austritt aus dem Mark eine Strecke weit durch den Randschleier.

Fig. 43. Pristiurusembryo von 8 mm Länge. Randschnitt eines Wurzelstämmchens. Das von einer kleinen Neuroblastengruppe ausgehende Stämmchen endet in kurzer Entfernung vom Mark schräg abgeschnitten. *Bd.* längs und quer gelagerte Bindegewebszellen in dessen Umgebung. Bei *C* ein capillares Längsgefäss.

Fig. 45. Pristiurusembryo von 14 mm Länge. Der Randschleier ist deutlicher ausgebildet, die Intermediärschicht vorhanden. Die vordere Wurzel zeigt einen cylindrischen axialen Strang, von einzelnen Bindegewebszellen umlagert. Innerhalb des Marks sind einige Fasern durch den Randschleier hindurch bis zur Intermediärschicht verfolgbar, andere treten schon vorher aus der Schnittfläche heraus. Bei dieser und bei der vorigen Figur sind die reifen Neuroblasten an ihren hellen Kernen erkennbar. Bei *C* das Längsgefäss.

Fig. 1.

Fig. 3a.

Fig. 7.

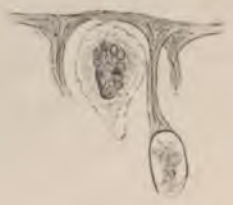


Fig. 8.

Ve Kz

Fig. 9.

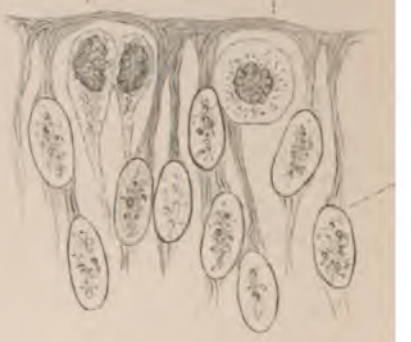


Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 4.

W. Ris. gez.

Fig. 2.

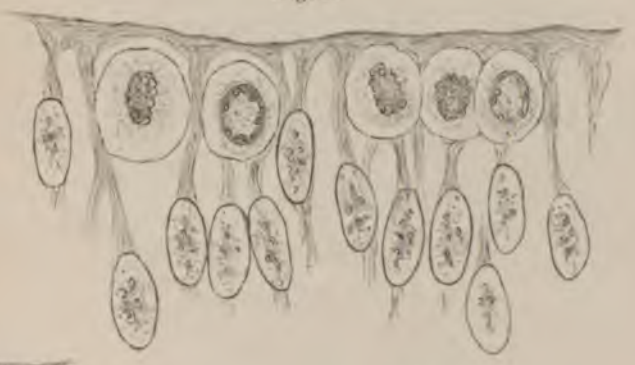


Fig. 3b.

Fig. 12.

Fig. 13.

.5.

a. W.

Fig. 6.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

Fig. 16.

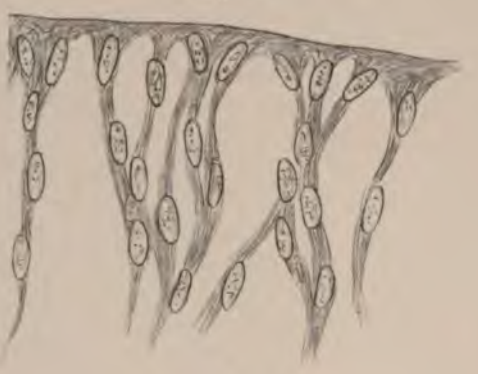


Fig. 17.

Fig. 18.

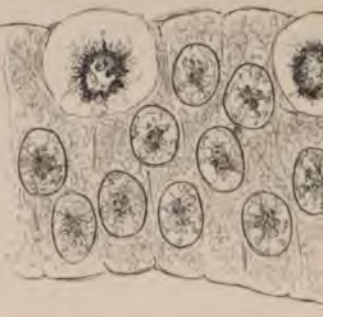


Fig. 15.

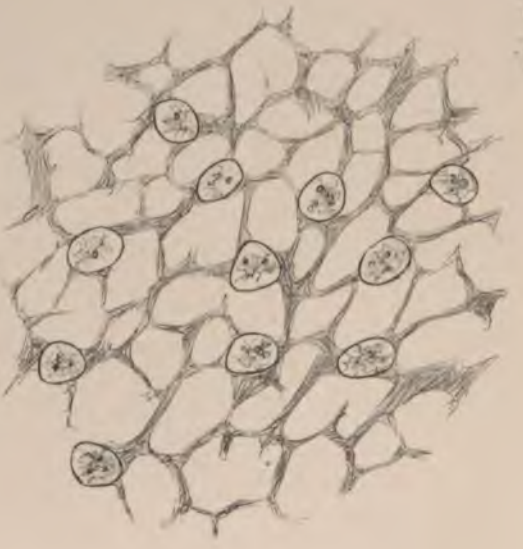


Fig. 21.

Fig. 14.

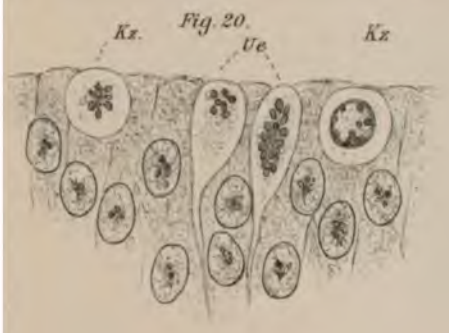


Fig. 20.

Fig. 19.

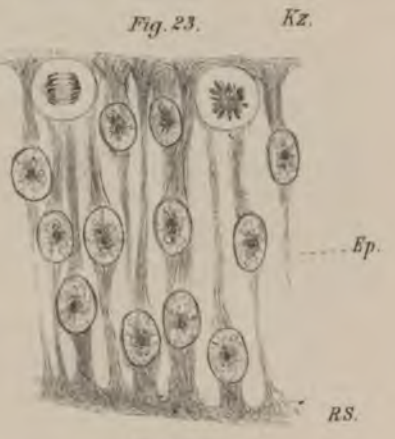


Fig. 23.

Fig. 22.

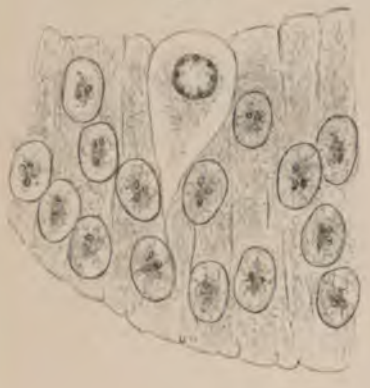
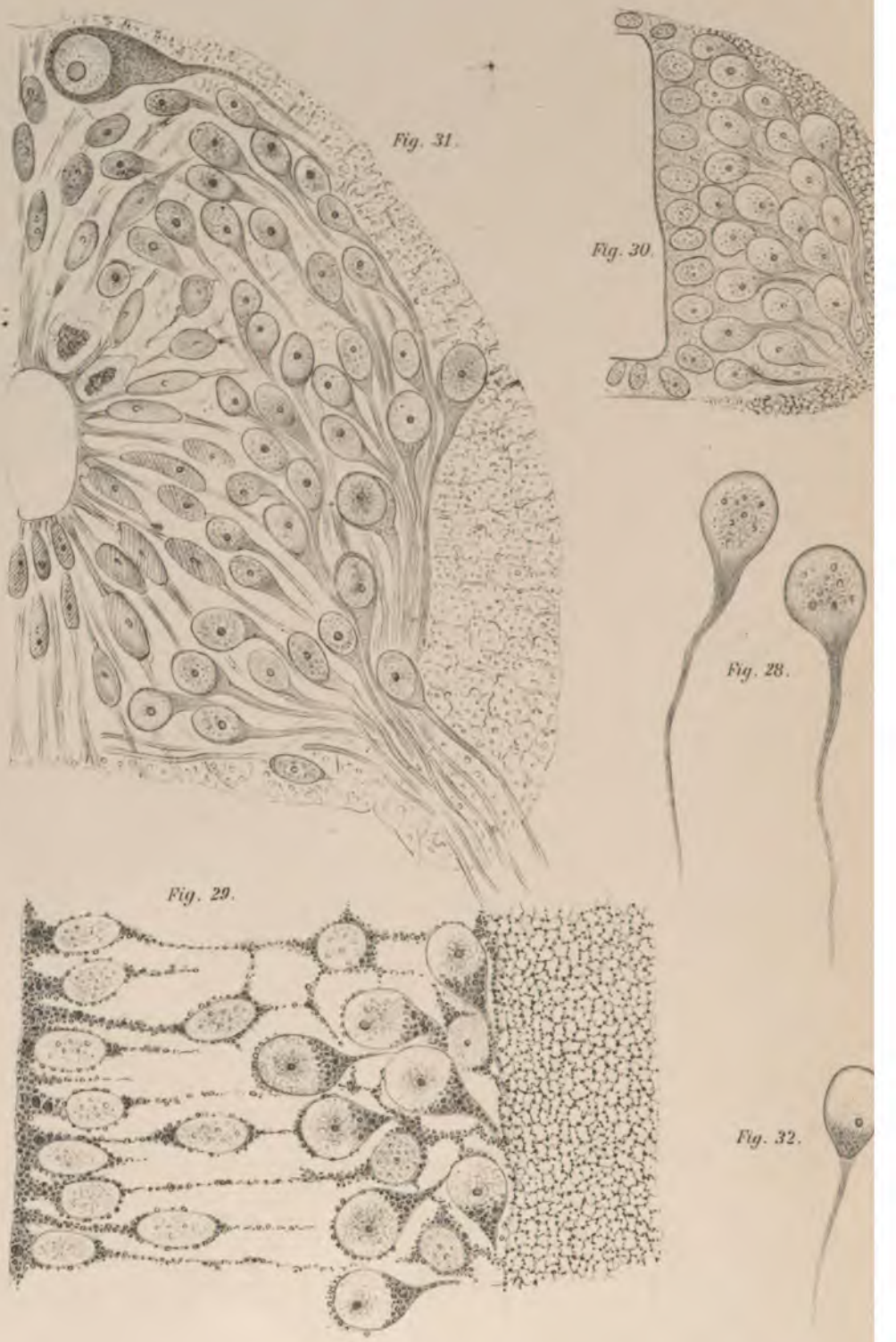


Fig. 27.

Fig. 25.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig



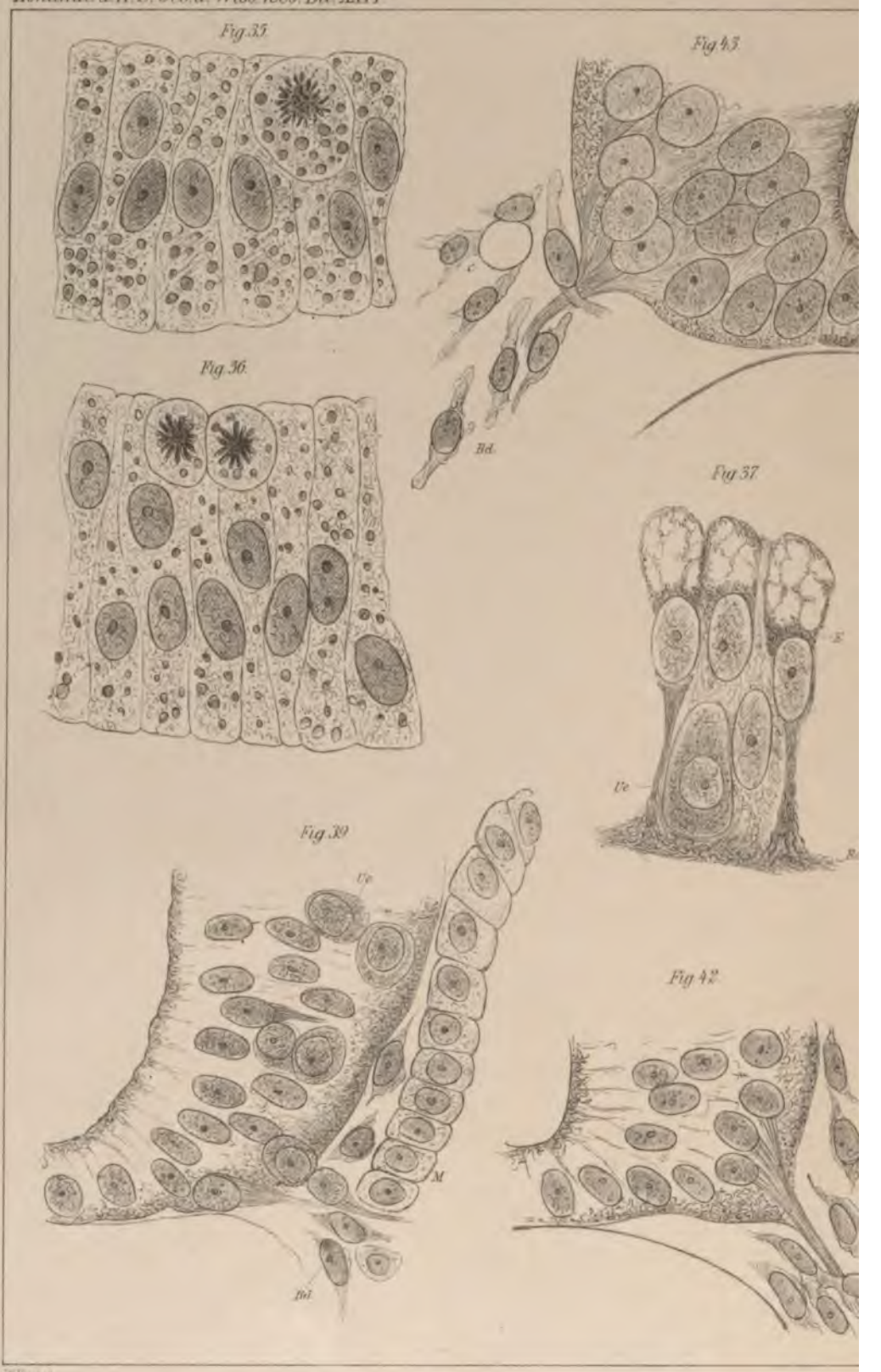
Ilis del.

Fig. 24.

Fig. 26.

Fig. 34.

Lith. Anst. v. E. A. Funke Leipzig



W. Hin gez.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig

BEITRÄGE

ZUR

KENNTNISS DER OXYDATIONSVORGÄNGE

IN LEBENDEN ZELLEN

VON

Dr. W. PFEFFER,
MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der
Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° V.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1889.

BEITRÄGE

ZUR

KENNTNISS DER OXYDATIONSVORGÄNGE

IN LEBENDEN ZELLEN

VON

Dr. W. PFEFFER.

I. Einleitung und Methodisches.

Das Vorkommen von activirtem Sauerstoff im Organismus wurde zwar oft in Erwägung gezogen, doch ist nie direct entschieden, ob in lebenden und lebensthätigen Zellen eine Production von activirtem Sauerstoff stattfindet. Auf Grund der mitzutheilenden Untersuchungen ist aber in streng empirischer Weise der Nachweis zu führen, dass in lebensthätigen Zellen, und zwar sowohl bei höheren Pflanzen, als bei Schimmelpilzen, activirter Sauerstoff weder im Protoplasma, noch im Zellsaft zu einer nachweislichen Entstehung kommt. Diese Schlüsse ergeben sich mit vollster Sicherheit aus dem Studium der Wirkung von Wasserstoffsuperoxyd in lebenden Zellen, ein Studium, das ich in der Absicht unternahm, um nach Reactionen auf Wasserstoffsuperoxyd in der lebenden Zelle zu suchen. Unterbleiben aber in der Zelle Oxydationen, welche Wasserstoffsuperoxyd erzielt, so sind natürlich auch alle noch stärker wirkende Oxydationsmittel, so insbesondere Ozon und der noch wirksamere atomistische, aber natürlich nur im Entstehungszustand in Betracht kommende Sauerstoff ausgeschlossen[1]). Ist diesen beiden Sauerstoffformen gegenüber das Wasserstoffdioxyd auch ein relativ schwaches Oxydationsmittel[2]), so glaube ich es doch mit Ozon und atomistischem Sauerstoff als activer oder activirter Sauerstoff zusammenfassen zu sollen, dem Traube das Wasserstoffdioxyd nicht zugesellen möchte. Ich halte indess eine solche Vereinigung für zweckmässig, da es für unsere Zwecke nur darauf ankommt, dem molekularen, neutralen oder passiven Sauerstoff die

1) Vgl. Baumann, Zur Kenntniss des activen Sauerstoffs. Ztschr. f. physiol. Chemie 1881, Bd. 5, p. 244.

2) Bericht d. chem. Gesellschaft 1882, Bd. 15, p. 675.

stärker wirkenden Formen oder Verbindungen des Sauerstoffs gegenüber zu stellen und es aus den Oxydationswirkungen zunächst gewöhnlich gar nicht zu ersehen sein wird, ob sie durch Wasserstoffdioxyd, Ozon, nascirenden Sauerstoff oder auch durch irgend eine andere energisch wirkende Sauerstoffverbindung erzielt wurden. Im Vergleich zum passiven Sauerstoff ist aber bekanntlich Wasserstoffdioxyd schon ein sehr starkes Oxydationsmittel, zudem kann es durch Vermittelung gewisser Körper zu einem der kräftigsten Oxydationsmittel werden[1]) und man kann nicht wissen, ob solche Vermittelungen in der Zelle zu Stande kommen.

Die Aufhellung der angedeuteten Frage hat wesentliche Bedeutung für die Kenntniss der Oxydationsvorgänge in der Zelle, also auch für die Causalität des Athmungsprozesses und für das Verständniss der Thatsache, dass z. B. in der lebenden Zelle vielfach Stoffe farblos bleiben, welche nach dem Tode durch den passiven Sauerstoff zu farbigen Producten oxydirt werden. Auf diese Verhältnisse kann aber erst weiterhin eingegangen werden, nachdem zuvor sachgemäss die Wirkungen des Wasserstoffdioxyds dargelegt sind, aus welchen sich das Fehlen des activirten Sauerstoffs und zugleich die Existenzfähigkeit des Wasserstoffsuperoxyds im Protoplasma ergiebt. Diese sichtbar werdenden oxydirenden Wirkungen des Wasserstoffdioxyds bestehen in Färbungen in farblosen und Entfärbung in farbigen Zellsäften, sowie auch in Entfärbungen des durch Cyanin künstlich gefärbten Protoplasmas. Solche wahrnehmbaren Veränderungen an natürlich gebotenen oder künstlich eingeführten Stoffen dienen also als Reagentien für Eindringen und Wirken des Wasserstoffsuperoxyds, Wirkungen, welche thatsächlich ohne Schädigung der Lebensthätigkeit ausführbar sind.

In methodischer Hinsicht handelte es sich um Auffindung geeigneter Objecte und um Einführung von Wasserstoffsuperoxyd in diese in einer solchen Weise, dass eine Schädigung nicht eintrat. Demgemäss muss sowohl die Concentration als auch die Dauer der Einwirkung des Wasserstoffsuperoxyds zweckentsprechend geregelt werden.

1) Vgl. die chemischen Handbücher. Ferner z. B. Schönbein, Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 214; Traube, Bericht d. chem. Ges. 1883, Bd. 16, p. 1206.

Die benutzten wässrigen Lösungen des Wasserstoffdioxyds enthielten in der Mehrzahl der Fälle zwischen 0,01 und 5% von diesem Körper, doch kamen auch geringere und bis zu 20% gesteigerte Concentrationen in Anwendung. Diese Lösungen wurden entweder unter Deckglas mit den Versuchsobjecten in Berührung gebracht, oder letztere wurden in Schälchen in eine grössere oder kleinere Flüssigkeitsmenge eingelegt. Besonders bei Verwendung sehr verdünnter Lösungen ist eine grössere Flüssigkeitsmenge von 100—400 ccm zu empfehlen, damit eine nicht zu geringe Menge von Wasserstoffdioxyd zur Verfügung steht und die Concentration sich nicht zu schnell ändert. Der Zersetzbarkeit des Wasserstoffsuperoxyds halber ist eine allmähliche Abnahme der Concentration unvermeidlich und es ist deshalb dann, wenn es auf continuirliche Einwirkung ankommt, geboten, die Lösung nach einigen Stunden zu erneuern und zur Controle zu prüfen, ob am Schlusse noch Wasserstoffsuperoxyd zugegen ist. Dieses ist bekanntlich durch Blauung bei Zusatz von etwas angesäuertem Stärkekleister zu erkennen, dem Jodkalium und eine Spur Eisenvitriol zugesetzt ist; auch kann, sofern andere reducirende Stoffe fehlen, die Entfärbung des mit Schwefelsäure angesäuerten Kaliumpermanganats als Reagens dienen. Aus den angegebenen Gründen ist es im allgemeinen zu empfehlen, bei Versuchen unter Deckglas, das Reagens öfters vermittelst Durchwaschen zu erneuern und durch Auflegen des Deckglases auf Papierstreifchen die Flüssigkeitsschicht zu verstärken.

Die Versuchsanstellung ist natürlich in jedem einzelnen Falle je nach dem Objecte und nach dem ins Auge gefassten Zwecke zu regeln. Als allgemeine Regel kann gelten, dass bei Vorhandensein schwer durchlässiger, so insbesondere cuticularisirter Zellhäute eine höhere Concentration anzuwenden ist, als bei leicht permeabeln Zellwänden. In letzterem Falle, so z. B. bei Wurzelhaaren, wird 0,01 bis 1 proc. Wasserstoffsuperoxyd gewöhnlich ausreichen und häufig wird schon nach kurzer Zeit die Einwirkung aufgehoben werden müssen, um schädliche Wirkungen zu vermeiden. Durch cuticularisirte Häute dringt aber Wasserstoffdioxyd nicht schnell und es kann längere Zeit verstreichen, ehe bei 5 proc. Lösung die Ankunft des Wasserstoffsuperoxyds im Innern der Zelle sich zu erkennen giebt. Ferner habe ich es vortheilhafter gefunden, die Lösungen nicht zu

verdünnt zu nehmen, um schon in kurzer Zeit oder doch in 10 bis 15 Minuten einen Erfolg zu erzielen, da anscheinend ein andauernd schwacher Einfluss den Protoplasmakörper mehr schädigt, als eine vorübergehende Einwirkung eines etwas concentrirteren Wasserstoffsuperoxyds, und zudem bei zu verdünnten Lösungen die Oxydation im Zellsaft ganz unterbleiben kann. (Vgl. Kap. 2.) Zu energische Einwirkungen des Wasserstoffsuperoxyds schädigen und tödten die Zelle in jedem Falle, doch habe ich, meiner Aufgabe entsprechend, diese nachtheiligen Einwirkungen nicht näher in den Bereich meiner Untersuchungen gezogen. Uebrigens wird die Feststellung des Fehlens einer merklichen Reaction öfters Veranlassung geben, die Concentration des Wasserstoffsuperoxyds bis zur schädlichen Einwirkung zu steigern.

Das benutzte Wasserstoffsuperoxyd war rein, namentlich auch frei von Barytsalzen und enthielt nur ein klein wenig freie Salzsäure, wodurch bekanntlich die Haltbarkeit wesentlich gesteigert wird. Da aber freie anorganische Säuren, selbst in sehr grosser Verdünnung, schnell in Zellen eindringen und tödtlich wirken[1]), wurde die Säure mit Natriumbicarbonat neutralisirt und, mit Rücksicht auf die verminderte Haltbarkeit, dieses neutrale Wasserstoffsuperoxyd täglich neu hergestellt. Der Bequemlichkeit und Sicherheit halber wurde ein kleiner Ueberschuss der Lösung von Natriumbicarbonat zugegeben, da dieses in kleinen Mengen ganz unschädlich ist. Dieser Ueberschuss hielt sich zwischen 0,03 und 0,1 %, aber selbst in 0,5 proc. Natriumbicarbonat nehmen die Staubfadenhaare von Tradescantia virginica und die Wurzelhaare von Trianea bogotensis während 24 Stunden keinen Schaden. Dabei dringt das Natriumbicarbonat in die lebenden Zellen nicht in merklicher Menge ein[2]), wie die unveränderte Färbung von Tradescantia zeigt, während der blaue Farbstoffauszug dieser Pflanze schon bei mässigen Mengen von Natriumbicarbonat einen blaugrünen Ton annimmt.

Der in Gewichtsprocenten angegebene Gehalt an Wasserstoff-

1) Pfeffer, Osmotische Unters. 1877, p. 135.

2) Auf Verwandlung des sauren Carbonats in das alkalisch reagirende Natriumcarbonat ist hier keine Rücksicht zu nehmen, da in unseren Versuchen die Kohlensäurezersetzung nicht oder doch in zu geringem Grade thätig war. Vgl. übrigens Hassack, in Unters. a. d. botan. Institut in Tübingen 1886/88, Bd. II, p. 469.

superoxyd wurde nach Zusatz von Schwefelsäure durch Titriren mit $^1/_{10}$ Normallösung von Kaliumpermanganat ermittelt[1]). Der Zersetzbarkeit halber wurde der Gehalt der Ausgangslösung von Zeit zu Zeit wieder bestimmt, wobei sich übrigens ergab, dass sich z. B. der Titre einer 3 proc. leicht sauren Wasserstoffsuperoxydlösung bei Aufbewahren in mässiger Temperatur während 8 Tagen nur in kaum merklicher Weise geändert hatte. Es würde aber auch schon eine nur annähernde Gehaltsbestimmung den praktischen Bedürfnissen in unserem Falle genügen, da es auf eine genaue Ermittelung des Verhältnisses von Concentration und Wirkung nicht abgesehen war und zudem würde eine solche Bestimmung bei der Zersetzbarkeit des Wasserstoffsuperoxyds besondere Schwierigkeiten bieten. Denn bekanntlich erfährt Wasserstoffsuperoxyd durch mannigfache Ursachen, so z. B. schon durch Glassplitter, eine beschleunigte Zersetzung, und dass ebensogut Papierstreifchen, Algenfäden und andere Pflanzentheile einen Zerfall veranlassen, zeigen direct die Blasen von Sauerstoff, welche sich um solche Körper bei Anwendung von 1- bis 5 proc. Wasserstoffdioxyd entwickeln. Aber auch in sehr verdünnten Lösungen dieser Verbindung nimmt bei Anwesenheit von einer geringen Menge lebender Pflanzentheile, z. B. bei Gegenwart einiger Fäden von Spirogyra, der Gehalt allmählich ab, wie schon früher angedeutet wurde. Sicherlich wird aber diese zersetzende Wirkung durch Pflanzentheile specifisch verschieden sein und schon der ungleichen Qualität und Dicke der Zellhäute, und der damit verknüpften ungleichen Durchlässigkeit halber, kann die zum Protoplasma gelangende Wasserstoffsuperoxydlösung von ungleicher Concentration sein, wenn zwei differente Objecte in dieselbe Lösung gebracht sind. Es muss dieserhalb auch die Möglichkeit ins Auge gefasst werden, dass aus verdünnteren Lösungen Wasserstoffsuperoxyd vielleicht einmal gar nicht bis zum Protoplasma oder bis zum Zellsaft gelangt, ein Punkt, von dem später noch die Rede sein wird.

Den Einfluss der Temperatur auf die Reactionen versuchte ich nicht festzustellen und es sei hier ein für allemal gesagt, dass, wo nicht Anderes bemerkt ist, meine Versuche zwischen 16° und 21° C. ausgeführt wurden.

---

1) Graham-Otto, Lehrbuch d. Chemie 1878, V. Aufl., Bd. II, 1, p. 261.

II. Die Wirkung von Wasserstoffsuperoxyd in der lebenden Zelle.

A. Allgemeines.

Zunächst sollen hier die Erfahrungen über färbende und entfärbende Wirkungen besprochen werden, welche direct durch Wasserstoffsuperoxyd im Zellsaft erzielbar sind, um erst weiterhin die Versuche mit künstlich eingeführten Farbstoffen zu behandeln. Solche sichtbare Reactionen im Zellsaft (Vacuolenflüssigkeit) dienen uns zunächst nur als Mittel, um das Eindringen des Wasserstoffdioxyds in lebende Zellen zu controliren, und in diesem Sinne ist natürlich ein ausgedehnter Gebrauch möglich, ohne von den reagirenden Stoffen, dem Vorgang und den Producten der Reaction eine nähere Kenntniss zu haben, die thatsächlich zur Zeit nicht vorliegt.

Wasserstoffsuperoxyd ruft aber nur in einer beschränkten Zahl von Pflanzen leicht wahrnehmbare Reactionen hervor, und nur diese auf empirischem Wege ermittelten Objecte sind in besagter Weise als physiologische Reagentien zu benutzen. Als geeignete Objecte lernte ich u. a. die Wurzelhaare von Trianea bogotensis, Wurzel und Stengel der Keimpflanzen von Vicia faba und die Staubfadenhaare von Tradescantia virginica kennen. Mit diesen Pflanzen operirte ich hauptsächlich und an sie kann ich mich in den folgenden Mittheilungen zunächst um so mehr halten, als die weniger ausgedehnten Erfahrungen mit anderen Pflanzen der Hauptsache nach sich anschliessende Resultate lieferten. Für die Erledigung der Hauptfragen, welche sich an das Eindringen und an die Existenz von Wasserstoffsuperoxyd knüpfen, genügte thatsächlich die Benutzung einiger brauchbaren Indicatorpflanzen und es war nicht meine Absicht, weitere Einzelheiten über die Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds kennen zu lernen, die übrigens zweifellos noch manches Interesse bieten wird, wie schon aus einzelnen Beobachtungen zu entnehmen ist.

Unter den drei Versuchspflanzen ruft das eindringende Wasserstoffdioxyd in dem so gut wie farblosen Zellsaft von Trianea und Faba ansehnliche rothbraune Färbung hervor, während der blaue Zellsaft in den Staubfadenhaaren von Tradescantia farblos oder leicht gelbbräunlich oder weingelb wird. Auf solche Entfärbungen resp.

Farbenänderungen in blauen oder rothen Zellsäften, sowie auf Färbung farbloser Zellsäfte laufen die bisher beobachteten auffälligen Reactionen hinaus.

Trianea und Faba sind beides ausgezeichnete Versuchsobjecte, in denen Wasserstoffsuperoxyd sogleich mit Eindringen in den Zellsaft sehr auffällige Färbung erzielte. Diese wird endlich bei Keimpflanzen von Faba in der Epidermis von Stengel und Wurzel, sowie in den Wurzelhaaren so intensiv, dass der Zellsaft tief rothbraun erscheinen kann. Individuelle Abweichungen in der Intensität der maximalen Färbung fanden sich bei Faba und noch auffälliger in den jüngeren und eben ausgewachsenen Wurzelhaaren von Trianea, welche ich zu meinen Versuchen benutzte. In diesen erreicht die im Colorit von der Reaction in Faba etwas verschiedene Färbung zuweilen fast die Intensität wie in den Epidermiszellen und in den Wurzelhaaren von Faba. Zumeist ist aber die maximale Färbung in den genannten Zellen von Faba tiefer, als in den Wurzelhaaren von Trianea, in welchen indess immer die Färbung so ansehnlich ist, dass sie selbst bei stärkerer Vergrösserung höchst auffällig hervortritt.

Einige Zeit nach oder fast Hand in Hand mit dieser Färbung beginnt zumeist in beiden Versuchspflanzen eine Ausscheidung braunröthlicher Körnchen, durch welche der Zellsaft partiell oder auch fast ganz entfärbt werden kann. Es rührt dieses daher, dass das farbige Oxydationsproduct unter den im Zellsaft gebotenen Verhältnissen zumeist nur in begrenzter Menge oder kaum löslich ist und demgemäss sich mehr oder weniger ausscheidet. Näheres hierüber enthält das folgende Kapitel und es mag hier nur noch darauf hingewiesen sein, dass, dem Gesagten entsprechend, bei einer nur geringen Anfärbung durch eine vorübergehende Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd die Ausscheidung auch ganz unterbleiben kann. Diese Ausscheidungen sind in ihrer Gestaltung ähnlich den Gerbsäureausscheidungen, welche Ammoncarbonat z. B. in Spirogyra und in den Wurzelhaaren von Azolla erzielt[1]), und wie bei diesen, bieten sich Unterschiede in der Feinheit und der Aggregation unserer Körnchen,

---

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen 1886/88, Bd. II, p. 239; Klercker, Studien über Gerbstoffvacuolen 1888, p. 32. Separatabz. aus Svenska Vet. Akad. Handlingar, Bd. 13.

welche, bevor die Ammoncarbonatfüllung sich weiter verändert hat, ein viel tieferes Colorit als letztere besitzen. Mit diesem Hinweis auf ähnliche Gestaltung soll indess keineswegs eine chemische Identität behauptet sein.

Sehr schnell reagiren die Wurzelhaare von Trianea bogotensis. Bei Zufuhr von 1procentigem Wasserstoffsuperoxyd unter Deckglas beginnt die Färbung fast augenblicklich, doch auch bei 0,1 Procent Wasserstoffdioxyd kann dieselbe in weniger als 1 Minute, und sogar bei 0,01 Procent in 1 bis 2 Minuten bemerklich werden und selbst in letzterem Falle während 5 bis 10 Minuten zu tiefstem Colorit gestiegen sein. Dabei ist dieses Object sehr geeignet, um zu constatiren, dass während und nach der Einwirkung die Gestaltung und die lebhafte Strömung des farblos bleibenden Protoplasmas sich unverändert erhalten. Doch müssen zu diesem Zwecke natürlich schädliche Einwirkungen vermieden werden, und es dürfte sich deshalb empfehlen, mit 0,01procentigem Wasserstoffsuperoxyd unter Deckglas oder auch im Schälchen zu operiren.

Mit den Keimwurzeln von Faba lässt sich auch makroskopisch in sehr schöner Weise die Oxydationswirkung demonstriren. Denn taucht man eine junge Keimwurzel oder auch eine Seitenwurzel in 1procentiges Wasserstoffdioxyd, so beginnt sie fast augenblicklich sich zu färben und nach 3 bis 7 Minuten ist sie intensiv kirschroth oder braunroth geworden. Wird nun das Wasserstoffsuperoxyd abgespült, so pflegt nach 10 bis 40 Minuten eine schmutzig braunrothe Färbung sich eingestellt zu haben, die eine Folge der schon erwähnten Ausscheidung des anfänglich gelösten Oxydationsproductes ist. Uebrigens wird auch durch Eintauchen in 0,01procentiges Wasserstoffsuperoxyd nach wenigen Minuten der Beginn und nach 10 bis 15 Minuten eine weitgehende Färbung erreicht.

Bei Faba sind sowohl in der Wurzel, als am Stengel wesentlich die Epidermiszellen (einschliesslich der Wurzelhaare) und die subepidermalen Zellen reactionsfähig, während in vielen Zellen der übrigen Gewebe Wasserstoffsuperoxyd nur schwache oder auch gar keine Färbung hervorruft, wie im Näheren im speciellen Theile gezeigt werden soll. Für mikroskopische Beobachtung wird man also die Epidermiszellen und Wurzelhaare am besten an radialen Längsschnitten oder an abgezogenen Epidermisstreifen ins Auge fassen und

so lässt sich eben so gut wie bei Trianea die Färbung und die Fortdauer des Lebens constatiren. Denn das Protoplasma, namentlich in den Epidermiszellen des Keimstengels von Faba, strömt zwar nicht so schnell wie das in den Wurzelhaaren von Trianea, aber immerhin ansehnlich genug, und ferner lehrt die Wachsthumsfähigkeit der durch Oxydation gefärbten Zellen, dass ihre normalen Functionen fortdauerten.

Ob, wie es mir schien, die genannten Zellen von Faba etwas leichter geschädigt werden, als die Wurzelhaare von Trianea, mag dahin gestellt bleiben. Auch habe ich nicht zu ermitteln gesucht, ob in der Dicke und der Qualität der Zellhaut, oder in anderen Umständen es begründet ist, dass anscheinend das Wasserstoffsuperoxyd etwas langsamer in die Wurzelhaare und in die Epidermiszellen von Faba eindringt, als in die Wurzelhaare von Trianea. Doch kann an mikroskopischen Schnitten aus Faba die Reaction durch 1- und 0,01procentige Wasserstoffsuperoxydlösung fast ebenso schnell erzielt werden, als beim Eintauchen ganzer Wurzeln. Dieses gilt auch für die Epidermiszellen des Stengels von Faba, welche an den Schnittflächen leicht durchlässige Zellwände bieten, während die cuticularisirte Aussenwand viel schwieriger permeabel ist. Dieserhalb dauert es bei Eintauchen von intacten Keimstengeln in 1procentiges Wasserstoffsuperoxyd lange, bevor eine Reaction in der Epidermis bemerklich wird und selbst bei Verwendung von 3procentigem Wasserstoffdioxyd pflegen nach 15 Minuten nur einzelne Stellen bräunliche Färbung in den lebendigen Epidermiszellen zu zeigen.

Noch mag hier bemerkt sein, dass die fragliche Oxydationsfärbung bei Faba in gleicher Weise in chlorophyllfreien, als auch in den chlorophyllführenden subepidermalen Zellen des Stengels, sowie in chlorophyllführenden Zellen des Blattes eintritt, die sämmtlich im Leben farblosen Zellsaft führen. Bei Operationen mit dem Stengel dürfte es sich aber zumeist empfehlen, im Dunkeln erzogene farblose Stengeltheile zu verwenden.

Für die Entfärbung farbiger Zellen sind die bekannten Staubfadenhaare von Tradecsantia virginica ein vortreffliches Object. Unter Deckglas in Wasserstoffsuperoxyd gebracht, beginnt von der verletzten Zelle aus die Reaction und die angrenzende Zelle des Fadens kann in 1procentigem Wasserstoffdioxyd nach 2 bis 5 Minuten, bei 5procentigem fast augenblicklich entfärbt sein. Von dieser verletzten

Stelle rückt dann die Reaction von Zelle zu Zelle allmählich vor; wenigstens bei 1- und 3procentigen Lösungen pflegt das Wasserstoffsuperoxyd durch die cuticularisirte Aussenwand seinen Weg nicht in die Zelle zu finden. So kommt es, dass nach einiger Zeit in einem Faden alle Phasen der Reaction zu finden sind. Zunächst der Wundstelle sind die Zellen durch die übermässige Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds getödtet, dann folgen 1 bis 5 entfärbte und partiell entfärbte Zellen, denen sich die von der Reaction noch unberührten Zellen anschliessen. Uebrigens wird während richtig geleiteter Reaction die Strömung des Protoplasmakörpers in unsern Staubfadenhaaren ebensowenig gestört, als in Trianea und Faba.

Beachtet man, dass das Wasserstoffsuperoxyd nur von der verletzten Zelle aus eindringt, so dürfte jenes, mit Rücksicht auf die relativ kleine Oberfläche der Querwand, durch diese wohl ebenso schnell seinen Weg finden, als durch die nicht cuticularisirten Wandungen bei Faba. Jedenfalls findet aber, wie die Versuche mit dem concentrirteren Reagens zeigen, die entfärbende Oxydation sofort mit dem Eintritt des Wasserstoffsuperoxyds statt. Da indess eine kleine Abnahme der blauen Färbung schwieriger wahrzunehmen ist, als eine beginnende Färbung eines farblosen Saftes, so dürften auch dieserhalb Trianea und Faba geeigneter sein, um Spuren einer Reaction durch Wasserstoffsuperoxyd zu erkennen.

Während oder nach der Entfärbung tritt in Tradescantia zum Theil eine reichliche körnige Ausscheidung im Zellsaft ein, zum Theil aber kommt solche nie zu Stande und gewöhnlich traf ich für die Zellen eines Fadens übereinstimmendes Verhalten. Bei unterbleibender Ausscheidung wird der Zellsaft, besonders in den lichter blau gefärbten Zellen, fast farblos oder nimmt etwas weingelben bis schwach gelbbraunen Ton an. So lange aber noch etwas blauer Farbstoff vorhanden ist, gibt dessen Colorit zu erkennen, dass während der Oxydation im Zellsaft die neutrale Reaction gewahrt wird.

Ganz ebenso verläuft die Reaction, wenn sich erst nach der Entfärbung die Ausscheidung einstellt, welche dann einen gelbbräunlichen Ton besitzt, während sie auch wohl blaugrün und schmutziggrün erscheint, wenn schon vor vollendeter Färbung die Ausscheidung eintrat. Offenbar wurde dann von dem blauen Farbstoff etwas mit niedergerissen und auf diese Weise, wie in ähnlichen späterhin zu

behandelnden Fällen, der Wirkung des verdünnten Wasserstoffsuperoxyds entzogen.

In den genannten Pflanzen — und für andere sich analog verhaltende gilt dasselbe — wird also durch Wasserstoffsuperoxyd eine Reaction hervorgerufen, welche in der lebendigen Zelle sich nicht einstellt, weder in normalen Bedingungen, noch unter verschiedenen abnormen Verhältnissen, so z. B. nicht in der Nähe verletzter Stellen, bei Chloroformirung, bei extremen Temperaturen, bei höherem oder geringerem Sauerstoffdruck. Durch Wasserstoffdioxyd werden also in unseren Objecten farblose, im Zellsaft gelöste Stoffe, die wir, wie üblich, Chromogene nennen, zu farbigen Producten oxydirt, oder es entstehen aus den im Zellsaft gelösten Farbstoffen farblose oder doch anders gefärbte Körper. Dass es sich hierbei um eine Oxydation handelt, kann der ganzen Sachlage nach nicht zweifelhaft sein. Uebrigens enthält Faba einen Körper, welcher in dem ausgepressten Saft auch schon durch den passiven Sauerstoff zu einem Farbstoff oxydirt wird und ebenso lässt sich für den Farbstoff von Tradescantia leicht zeigen, dass er nicht etwa durch Exosmose, sondern durch Oxydation verschwindet. Die Zellen der Blumenblätter dieser Pflanze reagiren nämlich ebenso wie die der Staubfadenhaare. Wenn man aber eine grössere Zahl Blumenblätter mit 5procentigem Wasserstoffsuperoxyd übergiesst, so tritt, der Cuticula halber, zwar erst nach Stunden gänzliche Entfärbung ein, die Flüssigkeit aber erscheint farblos oder gelbbräunlich, während die gleiche Zahl Blumenblätter beim Aufkochen mit Wasser eine blaue Flüssigkeit liefert. Auch diese kann, nachdem eine Spur Eisensulfat hinzugefügt ist, sofort durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbt werden.

Sehr beachtenswerth ist, dass Färbungen und Entfärbungen durch Wasserstoffsuperoxyd nach Entfernung dieses in den lebenden Zellen nicht wieder rückgängig werden. Demgemäss haben die Staubfadenhaare von Tradescantia nicht die Fähigkeit, den blauen Farbstoff von neuem zu bilden, und das dauernde Verbleiben auch der leichtesten und zu keiner Ausscheidung führenden Anfärbung im Zellsaft von Faba oder Trianea zeigt, dass dieser Farbstoff in den lebensthätigen Zellen weder verarbeitet noch durch Reduction wieder entfernt wird, vielmehr stabil in der fortlebenden Zelle verbleibt. Aus diesem Factum werden wir noch Schlussfolgerungen abzuleiten haben.

Mit andern Pflanzen wurden nicht so ausgedehnte Versuche angestellt, als mit den drei genannten Objecten, und zumeist beschränkte ich mich auf die Feststellung, ob mit Wasserstoffsuperoxyd eine auffällige Reaction eintrat oder unterblieb. Wenn ich diese Einwirkung, bei negativem Resultate, auch gewöhnlich bis zur Schädigung trieb, so ist deshalb doch möglich, dass fernere Untersuchungen in solchen Pflanzen eine Färbung oder Entfärbung erzielen, denn diese vollziehen sich durchaus nicht immer so schnell, als in den bisher behandelten Pflanzen, und für den Fall, dass Wasserstoffsuperoxyd nur allmählich die Oxydation bewirkt, kann eine längere Dauer der Einwirkung zum Erfolge nöthig werden. Indess hatte ich beim Suchen nach Indicatorpflanzen keine Veranlassung, nach solchen Verhältnissen näher zu forschen, und ferner ist zu beachten, dass meine Angaben sich immer nur auf bestimmte Zellen beziehen, andere Gewebe aber in denselben Pflanzen recht wohl ein verschiedenes Verhalten bieten können, wofür in Folgendem auch Beispiele angeführt werden. Auch ist auf geringfügige Farbenänderung keine Rücksicht genommen und vielleicht gibt es individuelle Differenzen. Wenigstens beobachtete ich einmal an den im Sommer aus dem Freien entnommenen Brennhaaren von Urtica dioica L. eine deutliche gelbbraune Färbung des Zellsaftes, während ich eine solche an den im Winter im Gewächshaus getriebenen Pflanzen nicht fand.

Anschliessend an die Staubfadenhaare und die Blumenblätter von Tradescantia virginica L. erwiesen sich leicht entfärbbar durch Wasserstoffsuperoxyd die blauen Blumenblätter von Solanum dulcamara L., Campanula rapunculus L., Iris sibirica L., Polemonium coeruleum L., und einer Gartenform von Phlox paniculata L. Dagegen wurde an der blauen Corolle von Fuchsia coccinea L. keine und an der von Centaurea Cyanus L. keine sichere Entfärbung beobachtet.

In rothen, also mehr oder weniger sauer reagirenden Zellsäften, fand ich leichte Oxydirbarkeit für die rothen Zellen, welche in den Nebenblättern von Hydrocharis morsus ranae L. die Gefässbündel begleiten und ebenso für die einzelnen rothen Zellen im Schwimmblatt dieser Pflanze; ferner in der Epidermis des Stengels von Atriplex hortense L. var. rubrum. In diesen Fällen nahm der schön kirschrothe Zellsaft eine licht gelbröthliche Färbung in Folge der Oxydation an. Auch die rothen Zellen in den Kelchzipfeln einer Gartenform von

Phlox paniculata L. wurden leicht entfärbt, während in dem schön rothen und sauer reagirenden Zellsaft der Zellen auf der Blattunterseite einer rothblättrigen Gartenform von Coleus Wasserstoffsuperoxyd nur allmählich eine entfärbende Oxydation zu erzielen vermochte.

Keine oder unsichere Entfärbung wurde beobachtet in dem purpurrothen oder feuerrothen Zellsafte der Corolle von Lamium purpureum L., Monarda Bradburiana Beck, Rosa centifolia L., Lathyrus sylvestris L., Tropaeolum majus L. (einzelne Zellen der Corollenanhänge mit rothem Zellsaft), Verbena hybrida hort., ferner des Kelchs von Fuchsia coccinea L. und der schuppenförmigen Haare am Blatte von Begonia rex Putz. Ebenso wurde bisher keine Entfärbung für Chlorophyllkörper und andere Farbstoffkörper der im speciellen Theile zu nennenden Pflanzen gefunden.

Eine in die Augen springende Färbung im farblosen Zellsaft wird durch Wasserstoffsuperoxyd in der Mehrzahl der Pflanzen nicht erreicht und die im speciellen Theile angeführte Liste der mit negativem Erfolg geprüften Pflanzen ist ansehnlich gegenüber den wenigen Pflanzen, in denen eine deutliche Reaction erzielt wurde. Eine ziemliche Oxydationsfärbung, ähnlich, wenn auch wohl etwas schwächer als bei Faba, beobachtete ich in der Epidermis des Blattes von Cytisus nigricans L. und Orobus niger L. Dagegen färbt sich gelbbraun der Zellsaft in den Köpfchen der Drüsenhaare des Blattes und des Stengels von Momordica elaterium L. und Cucurbita pepo L. Eine solche, doch schwächere Reaction zeigten ein oder einige anstossende Zellen des Stiels dieser Drüsenhaare, während die übrigen Zellen und ebenso die nicht drüsigen Haare von beiden Pflanzen mit Wasserstoffsuperoxyd keine Färbung zeigten. Mässige Färbungen ergaben auch die Epidermis des Stengels von Hydrangea hortensis und der Corolle einer unbestimmten Aloe, sowie farblose Blattzellen von Hydrocharis morsus ranae.

Bemerkenswerth ist, dass durch Wasserstoffsuperoxyd keineswegs eine Färbung in allen den Pflanzen erzielt wird, deren ausgepresste Säfte sich an der Luft durch Oxydation färben. Dahin gehört die bekanntlich sich mit dem Tod sehr stark schwärzende Monotropa hypopitys L., in deren Stengelblättern durch Wasserstoffsuperoxyd nur in einzelnen Zellen eine ganz schwache Anfärbung erreichbar war. Ohne Erfolg prüfte ich ferner die Wirkung von

Wasserstoffsuperoxyd auf die Zellen in der Knolle der Zuckerrübe und der Georgina variabilis W. Weiter erhielt ich keine Färbung für den Stengel von Solanum tuberosum L., für Stengel und Blätter von Hypericum perforatum L. und Juglans regia L. Uebrigens schwärzen sich, wie im speciellen Theile gezeigt wird, nach der Tödtung auch diejenigen Zellen im Stengel von Faba, welche durch Wasserstoffsuperoxyd nicht zu färben sind.

Es sind also keineswegs alle die Chromogene durch Wasserstoffdioxyd färbbar, welche nach dem Tode der Pflanze schon durch den passiven Sauerstoff farbige Oxydationsproducte liefern. Wie erst weiterhin gezeigt wird, hängt dieses damit zusammen, dass durch die Mischung räumlich getrennter Stoffe mit dem Tode neue Bedingungen für die Oxydation geschaffen werden. Aus diesen Thatsachen aber folgt, dass eine Färbung nach dem Tode wohl immerhin als Fingerzeig dienen kann, um nach Oxydationsfärbungen durch Wasserstoffsuperoxyd zu suchen, ohne indess im Voraus über den Erfolg etwas auszusagen.

Nunmehr wollen wir auf Eindringen und wahrnehmbare Wirkungen des Wasserstoffsuperoxyds zurückkommen.

Die verschiedenen Erfahrungen haben gelehrt, dass Eindringen und Wirken dieses Reagens sehr schnell erfolgen, dass aber auch die Qualität der Zellhaut, so insbesondere deren Cuticularisirung, stark hemmend wirken kann. Die Beeinflussung der Aufnahme durch diese Umstände gilt in analoger Weise für andere gelöste Stoffe[1]) und aus diesen Gründen wird man thunlichst, sofern die Wandungen schwierig permeabel sind, für erleichterte Aufnahme z. B. durch Darbietung von Schnittflächen sorgen müssen.

Für Wasserstoffsuperoxyd kommt aber ferner in Betracht, dass es durch verschiedene Ursachen mehr oder weniger leicht Zersetzung erfährt und eine solche auch durch sog. Katalyse, d. h. ohne eine Veränderung des bewirkenden Körpers eintritt. Eine solche Zersetzung veranlassen aber, wie schon ausgeführt wurde (p. 379), Pflanzen so gut wie etwa Papierstreifen, und gleichviel ob allein

---

1) Pfeffer, Pflanzenphys. I, p. 48. Vgl. auch Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen 1886/88, Bd. II, p. 202.

solche katalytische Zersetzung oder noch dazu Oxydationsvorgänge oder andere chemische Umsetzungen eine Rolle spielen[1]), jedenfalls erfährt damit das Vordringen des Wasserstoffdioxyds bis zum Zellsaft eine gewisse und zudem nach Dicke und Qualität der Zellhaut verschiedene Hemmung. Gleiches gilt wiederum für den Protoplasmakörper, in welchem das Wasserstoffsuperoxyd zwar, wie das Vordringen zum Zellsaft lehrt, nicht leicht, aber doch sicher in etwas zersetzt wird (mehr davon späterhin). So kann aus dem Zusammenwirken verschiedener Factoren erreicht werden, dass unser Reagens entweder gar nicht bis zum Protoplasmakörper gelangt, oder durch diesen nicht bis in den Zellsaft vordringt.

Erwägt man nun, dass die relative diosmotische Durchlässigkeit verschiedener Zellhäute für Wasserstoffsuperoxyd nicht bekannt ist, dass ferner die andern genannten Umstände in specifisch ungleichem Grade mitwirken, so ist schon dieserhalb klar, dass bei gleichem Reagens die Reaction im Zellsaft in specifisch ungleicher Schnelligkeit eintreten muss und dass die Grenze der noch wirksamen Verdünnung des Wasserstoffsuperoxyds von diesen und auch noch andern Umständen abhängig ist.

Für unsere Aufgaben ist eine nähere Kenntniss dieser Verhältnisse nicht von Bedeutung, doch müssen dieselben für richtige Deutung der Versuchsresultate wohl beachtet werden. So haben wir das negative Resultat mit zu verdünnten Lösungen von Wasserstoffsuperoxyd auf Nichteindringen zu schieben, dürfen also nicht daraus folgern, dass geringe Mengen unseres Reagens im Zellsaft keine Oxy-

---

1) Die Thatsachen über die Zersetzbarkeit des Wasserstoffsuperoxyds sind in chemischen Handbüchern zu finden. Ebenso ist seit Schönbein bekannt, dass Pflanzentheile und auch Auszüge von pflanzlichen und thierischen Theilen eine zum Theil sehr energische Zersetzung veranlassen. (Schönbein, Zeitschrift f. Biologie, 1868, Bd. IV, p. 368; Bert, Compt. rendus 1882, Bd. 94, p. 1385; Bergengruen, Ueber die Wechselwirkung zwischen Wasserstoffsuperoxyd und verschiedenen Protoplasmaformen 1888, p. 28.) Es hat hier keine Bedeutung zu discutiren, ob, wie Schönbein vermuthet, die Enzyme eine besonders hohe Zersetzungskraft besitzen, was indess nach Bert (l. c.) und nach Bergengruen (l. c. p. 47) nicht zutrifft. Bemerkt mag noch werden, dass nach Bert (l. c. p. 1386) in Hühnereiweiss und in Eigelb das Wasserstoffsuperoxyd relativ beständig ist, was speciell für alkalische Lösungen auch Wurster (Ber. d. chem. Ges. 1887, Bd. 20, p. 263) fand.

dation zu erzielen vermögen. Im Gegentheil führen die thatsächlichen Erfahrungen nothwendig zu dem Schlusse, dass, bei schnell reagirenden Pflanzen, die kleinste Menge von eindringendem Wasserstoffsuperoxyd sogleich mit dem Eintritt im Zellsaft Oxydation ausführt und dieserhalb, so lange oxydables Material vorhanden ist, Wasserstoffsuperoxyd als solches gar nicht im Zellsaft zu bestehen vermag. Demgemäss hat die Wirkungslosigkeit allzu verdünnter Lösungen seinen Grund nur darin, dass überhaupt kein Wasserstoffsuperoxyd bis in den Zellsaft gelangt. Denn wenn auch nur Spuren einträten, so müsste doch mit der Zeit durch die Summation der minimalen Oxydationswirkungen ein merklicher Erfolg erzielt werden, da, wie schon mitgetheilt, diese Oxydationswirkungen in der lebenden Zelle sich stabil erhalten. Ebenso wird ja auch Methylenblau aus den verdünntesten Lösungen schliesslich in ansehnlicher Menge angehäuft, sofern nicht ein antagonistischer Process entgegenarbeitet[1]). Ein solcher ist z. B. in Spirogyra die durch den sauren Zellsaft veranlasste Exosmose, während in unserem Falle die Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds auf dem Wege zum Zellsaft Oxydationswirkungen in diesem verhindert.

Die oxydirende Wirkung auch schon der geringsten Mengen des in den Zellsaft gelangenden Wasserstoffsuperoxyds wird übrigens schon durch die Erfolge mit sehr verdünnten Lösungen erwiesen, durch welche in jedem Augenblick nur Spuren des Reagens eintreten können. So wurde der Zellsaft in den Wurzelhaaren von Trianea bei Aufenthalt in 200 ccm eines 0,001 proc. Wasserstoffsuperoxyds im Laufe von 2—3 Stunden zwar schwach aber noch deutlich gefärbt, während 0,0001 proc. Lösung auch nach 24 Stunden keine, 0,01 proc. Wasserstoffsuperoxyd aber, wie schon erwähnt, sehr schnell sichtbare Reaction hervorrief. In den überhaupt sehr schnell reagirenden Wurzelhaaren von Trianea gelangt eben das Wasserstoffsuperoxyd noch leichter zum Zellsaft als in der Wurzel von Faba, die bei 24stündigem Verweilen in 0,001% Wasserstoffsuperoxyd (500 ccm und 6mal erneuert) keine, in 0,01% aber eine deutliche, jedoch schwache Färbung annahm. Zugleich ist aus der erfolgreichen Wirkung so verdünnter Lösungen zu entnehmen, dass das Wasserstoff-

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Instit. in Tübingen, Bd. II, p. 201, 287.

superoxyd auf seinem Wege bis zum Zellsaft nur einer verhältnissmässig geringen Zersetzung ausgesetzt ist.

Da concentrirtere Lösungen in Trianea und in Faba unmittelbar mit der Einwirkung eine merkliche Farbenreaction erzielen, so ist damit erwiesen, dass Wasserstoffsuperoxyd sogleich mit seinem Eintritt in den Zellsaft oxydirend wirkt. Dem entsprechend schreitet nach sofortigem Abspülen mit Wasser die Reaction in Wurzelhaaren nicht weiter fort, wie es doch der Fall sein müsste, wenn die Oxydation nicht sogleich nach Eintritt des Wasserstoffsuperoxyds in den Zellsaft vollendet wäre.

Indess darf man solche rapide Oxydation, wie sie Trianea, Faba, Tradescantia und andere schnell reagirende Pflanzen vorführen, nicht allgemein erwarten, und der schon einmal erwähnte und noch weiterhin zu besprechende Coleus bietet einen Fall, in welchem das eingedrungene Wasserstoffsuperoxyd offenbar nur langsamer den rothen Farbstoff zu oxydiren vermag. Ueberraschen kann das nicht, da man von vornherein alle möglichen Abstufungen zwischen rapider und gänzlich unterbleibender Reaction erwarten darf. Zudem lehrt uns z. B. Indigolösung, dass die Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd, je nach Fehlen oder Gegenwart von etwas Eisensalz, sehr langsam oder sehr schnell verlaufen kann.

Für die auffallende Hemmung durch die Cuticula, welche wohl wesentlich auf schwierige Permeabilität für gelöste Stoffe zu schreiben ist, wurden schon in dem Stengel von Faba und in den Staubfadenhaaren von Tradescantia Beispiele beigebracht. In letzteren schreitet bei Anwendung von 1- bis 5 proc. Wasserstoffsuperoxyd die Oxydationsreaction von der verletzten Zelle ab in ungefähr gleicher Schnelligkeit fort, wie die durch 1- bis 5 proc. Ammoncarbonat erzielbare Farbenänderung[1]). Hiernach scheinen in diesem Objecte Wasserstoffsuperoxyd und Ammoncarbonat ungefähr gleich schnell ihren Weg von Zelle zu Zelle zu finden. Natürlich ist damit nichts Bestimmtes über die diosmotische Aufnahmefähigkeit ausgesagt, doch dürfte wohl Sauerstoff leichter in die Zellen eindringen, da dieser, wie die Protoplasmaströmung lehrt, seinen Weg in die unter Wasser befindlichen cuticularisirten Zellen von Tradescantia nimmt, in welche

1) Vgl. Pfeffer, Osmotische Untersuchungen 1877, p. 140 Anmerkung.

Wasserstoffsuperoxyd in den angegebenen Concentrationen nicht in merklicher Menge eindringt.

Auch über die osmotische Leistung von Wasserstoffdioxyd stellte ich keine Versuche an und bemerke nur beiläufig, dass eine 5 proc. Lösung keine Plasmolyse in den Staubfadenhaaren von Tradescantia, auch nicht in den von der Wundstelle aus zugänglichen Zellen erzielte, während 5 proc. Ammoncarbonat plasmolysirte.

Die beschriebenen Oxydationen im Zellsaft sind ohne irgend eine bemerkliche Schädigung ausführbar. Denn während und nach der richtig geleiteten Einwirkung des Wasserstoffsuperoxyds ist in der Gestaltung des Protoplasmas nichts Abnormes zu bemerken und die Strömung dauert in unveränderter Weise fort, sowohl bei nur geringer Einwirkung, als auch dann, wenn die ganze Menge des Chromogens oder des Farbstoffs in der Zelle oxydirt wird. Dieses Resultat wurde sowohl mit Trianea, als auch mit Faba, Tradescantia und Hydrocharis erhalten und fiel sowohl bei eintretender als bei unterbleibender Ausscheidung im Zellsaft übereinstimmend aus.

Auch erwiesen sich die so behandelten Zellen nach 2—3 Tagen noch vollständig normal, als sie nach Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd in Wasser (Wurzeln von Trianea und Faba, Staubfadenhaare von Tradescantia, Nebenblätter von Hydrocharis) oder in Luft (Stengel von Faba) aufbewahrt worden waren. Für Wurzel und Stengel von Faba constatirte ich zudem noch die anscheinend unveränderte Wachsthumsfähigkeit der Zellen mit künstlich gefärbtem Zellsaft. Durch die Volumzunahme in wachsenden und sich theilenden Zellen nahm natürlich die Intensität der Färbung des Zellsaftes mehr und mehr ab und dabei gingen die Ausscheidungen in diesem theilweise oder ganz wieder in Lösung über. In den zur Zeit der Oxydation schon ausgewachsenen Zellen des Stengels fand ich nach 6 und auch nach 20 Tagen die Strömung und ebenso die Färbung unverändert. Ebenso traf ich die entfärbten Epidermiszellen des Stengels von Atriplex hortense var. rubrum, denen Protoplasmaströmung immer fehlt, nach 3 bis 4 Tagen lebend.

Die mitgetheilten Beobachtungen lehren zugleich, dass sich die Oxydationswirkungen im Zellsaft in den lebensthätigen Zellen unverändert erhalten. In der That wurde in den ausgewachsenen Stengeltheilen von Keimpflanzen weder nach einem, noch nach 20 Tagen

irgend eine Farbenänderung in den Epidermiszellen gefunden, gleichviel ob diese tief gefärbt oder eben nur merklich angefärbt worden waren. Es ist dieses namentlich auch makroskopisch an den durch Wasserstoffsuperoxyd hervorgerufenen farbigen Flecken zu verfolgen, deren Colorit sich unverändert erhält, doch ergiebt sich Gleiches, wenn man einige Stunden nach der Einwirkung ein Probestückchen entnimmt und nach Verlauf der Versuchsdauer die diesen benachbarten Zellen der mikroskopischen Beobachtung unterzieht. Ebenso fand ich auch die Oxydationsfärbung resp. Entfärbung unverändert nach 3 bis 4 Tagen in den Stengeln von Atriplex und nach 2 bis 3 Tagen in den ausgewachsenen Wurzelhaaren von Trianea und ebenso in den Staubfadenhaaren von Tradescantia und in den Nebenblättern von Hydrocharis.

Die genannten Pflanzen vermögen also in ihren normal lebensthätigen Zellen weder die Oxydationsfärbung aufzuheben, noch die blaue oder rothe Färbung des Zellsaftes wieder herzustellen. Aus dieser wichtigen Thatsache folgt also u. a. auch, dass die thätige Zelle das oxydirte Chromogen oder den oxydirten Farbstoff nicht reducirt und selbst kleine Mengen des durch Oxydation gebildeten farbigen Körpers in keiner Weise im Stoffwechsel consumirt, denn mit obigem Resultate ist ja jede wiederbildende oder verbrauchende Thätigkeit in der Zelle ausgeschlossen. Es gilt dieses zunächst natürlich nur für unsere Pflanzen unter den gebotenen Versuchsbedingungen, also auch für normale Lebensverhältnisse. Es ist damit nicht ausgeschlossen, dass durch besondere Einwirkungen andere Resultate erzielbar sind und dass andere Pflanzen zu einem verschiedenen Resultate führen. Auch ist z. B. nahe liegend, dass z. B. dann, wenn die Oxydationsentfärbung vorgenommen wird, bevor in den jugendlichen Zellen die ganze Menge des blauen oder rothen Farbstoffs entstand, der noch bildungsfähige Rest weiterhin entsteht.

Eine intensivere Einwirkung des Wasserstoffsuperoxyds hat natürlich, wie auch bekannt ist, schädliche und tödtliche Erfolge, doch habe ich diese nicht weiter verfolgt, da es mir nur darauf ankam, Reactionen ohne Benachtheiligung der Pflanze zu erzielen. Ich beschränke mich deshalb auf die Mittheilung einiger beiläufigen Erfahrungen.

Wie nicht anders zu erwarten, wird auch eine verdünntere

Lösung bei längerer Einwirkung endlich schädlich. So fand ich u. a. das Protoplasma in den Wurzelhaaren von Trianea bogotensis in 0,04 proc. Wasserstoffsuperoxyd nach ¼ Stunde noch normal und strömend, bald darauf aber begannen Deformationen, die sich in ähnlicher Weise wie bei manchen andern schädigenden Einwirkungen, in Abreissen von Plasmatheilen, in Bildung von Vacuolen u. s. w. kund gaben und nach 1 bis 3 Stunden waren die Zellen getödtet[1]). Solche Tödtung trat bei 1- oder 5 % Wasserstoffsuperoxyd sehr schnell ein, während die Wurzelhaare in 0,001 % sich während 24 Stunden lebend erhielten und allmählich eine ziemlich weitgehende Oxydation im Zellsaft aufzuweisen hatten. Bei genügender Concentration wurden ähnliche Erfolge in Faba und in den Staubfadenhaaren von Tradescantia virginica, ebenso aber auch z. B. in Spirogyra, in der Wurzel von Lemna minor und Azolla filiculoides erzielt, in welchen durch Wasserstoffsuperoxyd keine merkliche Färbung bewirkt wird. Bemerkt mag noch werden, dass in der Wurzel von Lemna und Azolla, in welchen in der Epidermis und bei Azolla auch in den Wurzelhaaren Strömungen des Protoplasma fehlen, solche auch durch verdünntes und concentrirteres Wasserstoffsuperoxyd nicht hervorgerufen werden.

Ohne näheres Studium schien es mir doch, dass, wie es übrigens auch bei anderen endlich schädlichen Einwirkungen öfters zutrifft, Wasserstoffsuperoxyd bei vorübergehender Wirkung in mässiger Concentration weniger nachtheilig ist, als bei langdauerndem Einfluss in stärker verdünnten Lösungen, die nur sehr allmählich die Oxydationen herbeiführen. Zur Erzielung einer Oxydation in lebenden Zellen dürfte es sich also im Allgemeinen empfehlen, Concentrationen zu wählen, durch welche in nicht zu langer Zeit der erwünschte Erfolg erreicht wird, jedoch zu concentrirte Lösungen zu vermeiden, welche schnell schädliche Einflüsse bewirken. In Erwägung der wenn auch geringen zersetzenden Wirkung des Protoplasmas wäre es auch denkbar, dass bei langer Dauer selbst solche verdünnte Lösungen nachtheiligen Einfluss ausüben, die das Wasserstoffsuperoxyd wohl bis in das Protoplasma, nicht aber bis in den Zellsaft gelangen lassen.

---

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. II, p. 385, 391; Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen 1886/88, Bd. II, p. 250.

Vermuthlich sind verschiedene Pflanzen, wie gegen andere Eingriffe, so auch gegen Wasserstoffdioxyd ungleich empfindlich. Eine sichere Entscheidung ist indess nicht so ganz einfach, da, wie früher dargethan, bei Benutzung gleich concentrirter Lösungen dauernd sehr ungleiche Mengen von Wasserstoffsuperoxyd an und in den Protoplasmakörper gelangen können. Versuche zur Aufhellung dieser Frage stellte ich nicht an und ich kann nur sagen, dass dem Gesammteindruck nach der Protoplasmakörper in Faba[1]) eher empfindlicher als der von Trianea und Tradescantia zu sein scheint. Uebrigens ist Wasserstoffsuperoxyd wenigstens keines der stärksten Gifte. Denn 0,001 proc. Lösungen werden von den Wurzelhaaren von Trianea lange Zeit ertragen und Bacterium termo stellt z. B. erst nach einiger Zeit in 1 proc. Lösung seine Bewegungen ein[2]). Verschiedene Infusorien gingen bei 0,1 bis 0,05 % nach 1—5 Minuten zu Grunde.

Eine sichtbare Reaction in der lebenden Zelle hängt natürlich von der Existenz eines entsprechend oxydablen Körpers ab und aus dem Mangel einer solchen Reaction folgt natürlich ebenso wenig, dass Wasserstoffsuperoxyd seinen Weg in eine solche Zelle nicht findet, als der Mangel der von bestimmten Stoffen abhängigen Speicherung des Methylenblaus kein Beweis gegen das Eindringen dieses Farbstoffes ist[3]). Die positiven Erfahrungen für Zellen sehr verschiedener Pflanzen lassen vielmehr keinen Zweifel, dass Wasserstoffsuperoxyd in das Protoplasma aller Zellen seinen Weg findet, vorausgesetzt natürlich, dass nicht etwa diosmotische Eigenschaften der Zellhäute oder zu energische Zersetzungsvorgänge das Vordringen des Reagens bis an und in das Protoplasma verhindern. Für das Eindringen sprechen auch entschieden die Deformationen und Schädigungen im Protoplasmakörper, welche in den mit Farbenänderungen reagirenden und nicht reagirenden Zellen im Allgemeinen gleich leicht eintreten, denn ohne Eindringen in das Protoplasma würde Wasserstoffsuperoxyd wohl ebensowenig schädlich und tödtlich wirken, als die nicht dios-

1) Auch gegen Methylenblau ist Faba relativ empfindlich. Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 226.

2) Ueber schädliche Wirkung von Wasserstoffdioxyd vgl. u. a. Liebreich, Chem. Centralblatt 1880, p. 589; Bert, Compt. rend. 1882, Bd. 94, p. 1384; Flügge, Die Mikroorganismen 1886, p. 531.

3) Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 194.

mirenden Verbindungen der Anilinfarben[1]), welche in aufnehmbarer Form in ähnlicher Weise schädlich wirken, wie unser Reagens.

Uebrigens ist im Cyanin ein Mittel geboten, um den Eintritt von Wasserstoffsuperoxyd auch in solche Zellen nachweisen zu können, in welchen direct keine sichtbaren Reactionen entstehen, und vermuthlich lässt sich solcher Nachweis auch noch durch andere einführbare Stoffe liefern (vgl. Cap. 5).

Nach der ganzen Sachlage kann es nicht zweifelhaft sein, dass die färbenden und entfärbenden Oxydationen durch das Wasserstoffsuperoxyd direct und nach Maassgabe seines Eintritts in den Zellsaft ausgeführt werden; dass also dieses Reagens nicht etwa indirect, indem es als Reiz wirkt, physiologische Processe in der lebensthätigen Zelle veranlasst, welche erst die Oxydationen ausführen. Gegen letztere Annahme spricht schon genügend die Thatsache, dass ebenfalls in dem ausgepressten Saft der Keimpflanzen von Faba und der Blumenblätter von Tradescantia die fraglichen Oxydationen durch Wasserstoffdioxyd hervorgerufen werden können. Mit Uebergehung anderer Argumente sei deshalb nur noch darauf hingewiesen, dass auch das künstlich eingeführte Cyanin in dem Protoplasma, ebenso wie ausserhalb des Organismus, durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbt wird.

B. Specielle Beobachtungen.

Im Folgenden sollen verschiedene Belege und Einzelheiten für die Versuchspflanzen mitgetheilt werden, deren Einführung in die vorige allgemeine Darstellung über die Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds vermieden wurde. Zugleich kommen manche Thatsachen zur Besprechung, die erst in den folgenden Abschnitten weitere Verwendung für Schlussfolgerungen finden werden.

Vicia faba L.

Es wurde schon bemerkt, dass sich nicht alle Zellen dieser Pflanze durch Wasserstoffsuperoxyd färben lassen und dass insbesondere die Epidermiszellen in Stengel und Wurzel stark reagiren.

In dem epicotylen Glied und in den folgenden Internodien der im Topf erzogenen Pflanzen fand ich nach dem Auswachsen und

1) Vgl. Pfeffer, l. c., p. 185.

auch schon während der Streckung im wesentlichen Folgendes. Ungefähr gleich intensiv wie die Epidermis des Stengels, oder auch schon etwas schwächer, wurde die subepidermale Zellschicht gefärbt, während die nächstfolgende Zelllage zumeist ein merklich schwächeres Colorit bei maximaler Oxydationswirkung annahm. Im übrigen Gewebe erreichten zuweilen einzelne Zellen oder Zellcomplexe des Weichbastes fast die gleiche Färbung wie die Epidermiszellen. Die übrigen Zellen des Siebtheils waren entweder schwach oder gar nicht gefärbt, ebenso verhielten sich die andern Gewebemassen, in denen in manchen Schnitten fast nur farblose Zellen, in andern alle Abstufungen von ganz schwacher und ansehnlicher Reaction bei Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd beobachtet wurden. Nach einem flüchtigen Versuch mit einer Freilandpflanze bestehen auch in älteren Stengeln ähnliche Verhältnisse. Ebenso zeigte mir ein beiläufiger Versuch, dass die Oxydationsfärbung bis gegen das Urmeristem des Stengels und theilweise bis in dieses hinein auftrat, und auch in den jungen Blattanlagen sich bemerklich machte.

Für die eben ausgewachsenen Blätter einer Zimmerpflanze constatirte ich tiefe Oxydationsfärbung in der chlorophyllfreien Epidermis und schwächere, doch immerhin noch recht ansehnliche Reaction in den chlorophyllreichen Pallisadenzellen. Auch andere grüne Zellen reagirten zum Theil.

In der Streckungszone und der eben ausgewachsenen Partie der Haupt- und Seitenwurzeln bieten die Epidermis und die nach Innen anstossenden Zelllagen ein ähnliches Verhältniss wie im Stengel. Auch die sich ablösenden Zellen und die Haare werden ähnlich wie die Epidermis gefärbt. Im Binnengewebe der Wurzel fand ich durchgehends mehr sich färbende Zellen als im Stengel, doch lassen diese Beobachtungen, und ebenso die im Stengel individuelle und entwicklungsgeschichtliche Differenzen vermuthen.

Auch die Zellen der Wurzelhaube färben sich, so weit sie lebendig sind, ansehnlich. Gegen die Calyptrogenschicht nimmt die Färbungsfähigkeit ab, fehlt aber nur in den Zellen des embryonalen Gewebes.

Weitere Details habe ich nicht verfolgt. Die Erfahrungen zeigen aber zur Genüge, dass sich in Faba alle Abstufungen bis zu gar nicht mehr durch Wasserstoffsuperoxyd färbbaren Zellen finden.

Dieses Resultat ist nicht etwa durch mangelndes Eindringen von Wasserstoffsuperoxyd bedingt, denn ich operirte an Schnitten, meist Längsschnitten, in denen also diosmirbare Zellwände frei lagen und liess nöthigenfalls 3- oder 5 procentiges Wasserstoffsuperoxyd bis zur Tödtung der Zellen einwirken.

Die sich nicht färbenden Zellen enthalten nach den Reactionen mit Kaliumdichromat und Eisensalz[1]) nicht weniger Gerbstoff als die stark mit Wasserstoffsuperoxyd reagirenden. Schlechthin von Gerbstoff kann also diese Oxydationsfärbung nicht herrühren und es ist auch, wie später zu zeigen ist, wahrscheinlicher, dass ein besonderes Chromogen vorhanden ist, welches deshalb immer noch der Gruppe der Gerbstoffe zugehören könnte. Mag solches zutreffen oder nicht, nicht unwahrscheinlich ist, dass das übrigens erst mit dem Tode in die Zelle eindringende Kaliumdichromat, das durch Wasserstoffsuperoxyd oxydable Chromogen gleichfalls oxydirt. Auch hat ja Klercker[2]) gefunden, dass andere Stoffe als Gerbstoffe in Pflanzen rothe Färbungen mit Kaliumdichromat geben können.

Die mit Wasserstoffsuperoxyd nicht reagirenden Zellen enthalten aber gleichfalls ein Chromogen, das nach dem Tode der Zellen durch den passiven Sauerstoff oxydirt wird. Denn die von den äusseren Gewebelagen befreiten Stengelstücke färben sich tief und werden endlich ganz schwarz, wenn sie unter feuchter Glocke durch Chloroformdampf zum allmählichen Absterben gebracht werden.

Ohne nähere Kenntniss des Oxydationsproductes ist es doch geboten, hier Einiges über die körnigen Ausscheidungen zu sagen, welche sich einige Zeit nach der Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd einstellen und zu einer partiellen oder fast totalen Entfärbung des Zellsaftes führen. So weit es diese Thatsachen und die Gestaltung der Ausscheidung anbelangt, ist das Nöthige schon mitgetheilt worden.

Diese Ausscheidungen sind zunächst mit der Tödtung der Zellen in Wasser partiell, in verdünnten Alkalien und Säuren und auch in Natriumdicarbonat leicht löslich. Durch Einwirkung von 0,5- bis

---

1) Ich verfuhr in der von Moll angegebenen Weise. Bot. Centralblatt 1885, Bd. 24, p. 250. — Ueber Gerbstoff in Faba vgl. Kutscher, Flora 1883, p. 51.

2) Studien über Gerbstoffvacuolen 1888, p. 35.

1 proc. Ammoniumcarbonat gelingt es auch, die Ausscheidung ohne Tödtung der Zelle wieder in Lösung zu bringen. In todten Zellen geht aber diese Ausscheidung nach 1 bis 3 Tagen in einen in verdünnten Säuren und Alkalien unlöslichen Zustand über, während in lebenden Zellen noch nach 20 Tagen die lösliche Modification erhalten war, und ebenso noch nach 30 Tagen, als sogleich nach der Reaction die Objecte in absoluten Alkohol gebracht worden waren. In diesem Verhalten besonders hat diese Auscheidung Aehnlichkeit mit der Gerbsäurefällung durch Ammoniumcarbonat[1]) von der indess dieses Oxydationsproduct qualitativ verschieden ist, und es mag hier schon bemerkt sein, dass das sich ausscheidende Oxydationsproduct in den Wurzelhaaren von Trianea nicht von Gerbstoff abstammen kann, da dieser bis auf Spuren in diesen Wurzelhaaren fehlt.

Bei Lösung des Niederschlags in Ammoncarbonat, und ebenso bei Einwirkung dieses Reagens auf gefärbte, aber noch von Ausscheidung freie Zellen geht die bisherige rothbraune Färbung in ein schmutziges Graugrün über. Durch Zuführung von verdünnter Citronensäure ist indess die frühere Farbe wieder herstellbar und so gibt dieses Oxydationsproduct auch Auskunft über die Reaction des Zellsaftes. Dieser ist demnach, wie es auch die gegen Lacmus schwach saure Reaction des ausgepressten Saftes anzeigt, etwas sauer. Die Oxydation vollzieht sich demgemäss bei Faba in einem schwach sauren Zellsaft und diese Reaction bleibt während der fortschreitenden Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd unverändert.

Nach dem Gesagten wird die ungleich weitgehende Ausscheidung im Zellsaft, wenigstens der Hauptsache nach, verständlich. Denn bei der Löslichkeit des Oxydationsproductes in Säuren wird von diesem um so mehr gelöst bleiben, je saurer der Zellsaft ist. Die Ausscheidung an sich lässt also wiederum vermuthen, dass diese saure Reaction nicht ansehnlich ist, doch lassen sich ganz sichere Schlüsse in dieser Hinsicht nicht ziehen, da die saure Reaction wohl von sauren Salzen[2]) herrühren dürfte und noch andere Verhältnisse in dem Zellsaft eine Rolle für die Ausscheidung mitspielen werden.

---

1) Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. II, p. 242; Klercker, l. c., p. 32.

2) Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. Tübinger Institut, Bd. II, p. 293.

Die schon erwähnten Wachsthumsversuche wurden sowohl mit dem Stengel als mit der Keimwurzel von Faba angestellt. Taucht man den Stengel etiolirter oder nichtetiolirter Pflanzen in 3 % Wasserstoffsuperoxyd, so stellen sich, der schwer permeablen Cuticula halber, nach 8—15 Minuten einzelne gefärbte Flecken ein. Sobald diese bemerklich waren, wurde die Pflanze abgespült und wiederum eingepflanzt. In einem solchen Falle besass die Pflanze ausser dem epicotylen Glied noch zwei sichtbare Internodien, von welchen aber das obere noch unausgewachsen war. Nach 20 tägigem Aufenthalt hinter einem Ostfenster hatte sich dieses Internodium um ungefähr 60 % verlängert, während das epicotyle Glied unveränderte Länge bewahrt hatte. In letzterem war die Färbung der Flecken und damit der lebenden Zellen unverändert geblieben, während die gewachsenen Stellen des nächstfolgenden Internodiums abgeblasst, im übrigen aber die Zellen ebenfalls lebendig geblieben waren.

Zu gleichem Resultat führte auch ein weiterer Versuch im Licht und ein anderer, in welchem die Pflanzen während 10 Tagen nach der Färbung dauernd im Dunklen gehalten worden waren.

Ferner wurden mit gleichem Erfolge Versuche mit drei Keimwurzeln angestellt. In einem Falle war z. B. die 24 mm lange Wurzel von Faba während 5 Minuten in 1 procentiges Wasserstoffsuperoxyd getaucht und darauf in Wasser gebracht. In diesem hatte sich dieselbe während 24 Stunden um 11 mm verlängert und die Epidermiszellen in der gewachsenen Zone zeigten nun mehr oder weniger minderfarbigen Inhalt. Dagegen hatten die nicht gewachsenen Zellen dasselbe Colorit bewahrt, welches sie ¾ Stunden nach der Einwirkung des Wasserstoffdioxyds, also nachdem die Ausscheidung des Oxydationsproductes sich vollzogen hatte, besassen.

Trianea bogotensis Karst.

Um Wurzeln und Wurzelhaare dieser Pflanze in sehr brauchbarem Zustand zu erhalten, pflege ich, wie ich es schon früher that, die Pflanze nach Entfernung der alten Wurzeln neue auf einer nicht zu geringen Menge Wasser treiben zu lassen, das nur wenig anorganische Salze enthält. An Stelle des früher in Tübingen verwandten Regenwassers, das in Leipzig unbrauchbar ist, benutze ich jetzt destillirtes Wasser, dem 0,01 bis 0,02 % anorganische

Salze der Knop'schen Nährlösung zugesetzt sind. Bietet man genügende Temperatur, damit die Entwicklung schnell von statten geht und dämpft man durch Umhüllung des Glascylinders mit dunklem Papier das zu den Wurzeln nun allein von der Wasserfläche aus gelangende Licht, so erhält man zu Versuchen sehr geeignete mässig kräftige Wurzeln, denen fremde Organismen kaum ansitzen und deren Zellwand wenig fremde Stoffe eingelagert hat. Letzteres ist freilich nicht für unsere Versuche, wohl aber für Experimente mit Anilinfarben von Bedeutung, da diese sonst leicht die Zellwände stark färben.

Meist wurden 1 bis 2 cm lange Wurzeln direct oder Schnitte aus diesen mit Wasserstoffsuperoxyd behandelt und hauptsächlich kamen noch nicht ganz ausgewachsene Wurzelhaare zur Beobachtung. In diesen, deren Zellsaft farblos oder kaum merklich röthlich ist[1]), erfolgt, wie schon mitgetheilt, die rothbraune Oxydationsfärbung im Zellsaft sehr schnell und noch während dieser Färbung, oder sehr bald nachher, pflegt die Ausscheidung sich in ähnlicher Weise einzustellen, wie in Faba. Die auch hier amorphen, nicht doppeltbrechenden und mehr oder weniger zu Häufchen sich aggregirenden Körnchen werden dann auch wohl, indem sie dem Protoplasma adhäriren, in ähnlicher Weise mit dessen Strömung herumgeführt, wie z. B. die durch Methylenblau erzielten Ausscheidungen im Zellsaft.

Wie die Farbenspeicherung[2]) ist auch die Färbung durch Wasserstoffsuperoxyd individuell ziemlich verschieden, doch immer auffällig genug. Es gilt dieses auch für die ausgewachsenen Wurzelhaare, welche ich nicht näher studirte. Ebenso habe ich nur nebenbei constatirt, dass in der Wurzelepidermis und in den Zellen der Haube durch Wasserstoffsuperoxyd Färbung und Ausscheidung in ähnlicher, jedoch meist in weniger ansehnlicher Weise hervorgerufen wird, wie in den Wurzelhaaren.

Verwendet man Wurzelhaare, deren Zellsaft durch 3stündigen Aufenthalt in 0,004proc. Lösung von Methylenblau tief gefärbt ist[3]), so wird mit der durch die Wasserstoffsuperoxydeinwirkung erzielten

---

1) Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. II, p. 209.

2) Pfeffer, l. c., p. 208.

3) Ueber diese Methylenblaufärbungen u. s. w. vgl. Pfeffer, l. c., p. 208 ff

Ausscheidung das Methylenblau mit niedergerissen und der Niederschlag nimmt einen der Mischung von Rothbraun und Blau entsprechenden Farbenton an. Hatte sich aber nach 24stündigem Verweilen in einer 0,0002proc. Farbstofflösung die Methylenblauverbindung im Zellsaft der Wurzelhaare krystallinisch ausgeschieden, so brachte dennoch Wasserstoffsuperoxyd die rothbraune Oxydationsfärbung hervor. Analog verhielten sich die Zellen der Wurzelhaube, nachdem in diesen der speichernde Stoff, der hier wahrscheinlich Gerbsäure ist, als Methylenblauverbindung in Körnchen ausgeschieden war.

Da diese Reactionen nach voller Sättigung der Zellen mit Methylenblau erhalten werden, so müssen die Körper, welche diesen Farbstoff speichern, verschieden von den Stoffen sein, welche durch Wasserstoffsuperoxyd zu farbigen Producten oxydirt werden. Ob diese Färbung, wie es scheint, nach Ausscheidung der Methylenblauverbindungen etwas geringer ist, lasse ich dahin gestellt, doch könnte solches schon durch Aufnahme eines Theiles des Chromogens in die Methylenblauausscheidungen bedingt sein. Umgekehrt wird ja auch im Zellsaft der Wurzelhaare durch die Wasserstoffsuperoxydeinwirkung die Ausfällung des gespeicherten gelösten Methylenblaus sofort erzielt. Ob diese Ausfällung nur durch den Act der Ausscheidung des Oxydationsproductes veranlasst wird, oder ob noch andere Umstände mitspielen, suchte ich nicht zu erforschen.

Die Combination der angeführten Erfahrungen und der Thatsache, dass die Wurzelhaare von Trianea kaum nennenswerthe Spuren von Gerbsäure enthalten, kann wohl durch weiteres Studium zu einem gewissen Aufschluss über die Qualität des oxydablen Chromogens führen. Ein mit Kaliumbichromat oder Eisensalz reagirender Gerbstoff kann dieses in den Wurzelhaaren nicht sein, da eine zureichende Menge eines solchen Gerbstoffs nicht vorhanden ist. Ferner ist dieses Chromogen nicht der Methylenblau speichernde Körper und damit stimmt auch, dass die Zellen der Wurzelhaube ebenfalls Oxydationsfärbung liefern, obgleich sie denjenigen Körper nicht enthalten, welcher in den Wurzelhaaren die Speicherung einer gelösten Methylenblauverbindung herbeiführt.

Tradescantia virginica L.

Für die Staubfadenhaare dieser Pflanze ist die Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd beschrieben, ebenso ist des hemmenden Einflusses der Cuticula und der theilweise mit und nach der Oxydation eintretenden Ausscheidung gedacht worden. In meinen Versuchen stellte sich diese Ausscheidung bei Benutzung der bereits einige Zeit aufgegangenen Blüthen fast immer ein, fehlte aber meist in den noch nicht aufgeblühten oder in Aufblühen begriffenen Objecten. Doch beobachtete ich Ausnahmen von dieser Regel und andere Individuen mögen deshalb wohl ein anderes Resultat ergeben. Die Oxydation des blauen Farbstoffs geht wohl sicher immer in derselben Weise vor sich und es müssen also irgendwelche im Zellsaft schon vorhandene oder erst durch die Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd geschaffene Verhältnisse dafür entscheidend sein, ob keine, partielle oder totale Ausscheidung des Oxydationsproductes eintritt. In der Menge dieses kann die Ursache nicht liegen, da auch tiefst blau gefärbte Zellen ohne Ausscheidung bleiben, und ebenso besteht nach der blauen Färbung in den sich bezüglich der Ausscheidung different verhaltenden Zellen dieselbe neutrale Reaction im Zellsaft.

Da der Zellsaft nach der Oxydation im Allgemeinen um so mehr eine schwach weingelbe Färbung hat, je tiefer blau er zuvor war, so liefert der blaue Farbstoff bei der Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd offenbar einen etwas gelbbraun gefärbten Körper. Dieser ist aber auch ein Indicator für Säuren und Alkalien. Denn mit etwas Ammoncarbonat oder ganz verdünntem Ammoniak (1 Tropfen auf 20 ccm Wasser) wird der Zellsaft viel ansehnlicher gelbbraun, durch etwas Essigsäure (1 Tropfen auf 10 ccm Wasser) wird er aber anscheinend noch lichter als er es zuvor war. Aehnliche Reactionen sind übrigens mit dem durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbten Auszug der Blumenblätter von Tradescantia zu erhalten. Nach diesem Verhalten hat der Zellsaft auch nach der Reaction eine mehr oder weniger neutrale Reaction, wie sie die blaue Farbe vor und auch während der Entfärbung anzeigte, denn Säuren und Alkalien führen rothe, resp. graugrüne Färbung des blauen Zellsaftes herbei[1]).

1) Pfeffer, Osmot. Unters. 1877, p. 140.

In kleinen Schnitten aus den Blumenblättern geht die Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd ebenso und ebenso leicht von statten, wie in den Staubfadenhaaren, während die ganzen Blumenblätter, der Cuticula halber, nur allmählich durch concentrirteres Wasserstoffsuperoxyd entfärbt werden, wie das schon früher (p. 385) mitgetheilt wurde.

In den ganz jungen Staubfadenhaaren mit farblosem Zellsaft vermag eine sehr allmähliche Einwirkung von Wasserstoffdioxyd keine vorübergehende blaue Färbung zu erzielen. Demgemäss wird der blaue Farbstoff nicht durch partielle Oxydation eines schon in den jungen Zellen vorhandenen Chromogens gebildet.

Hydrocharis morsus ranae L.

In den submersen Nebenblättern begleiten Zellen mit hell purpurrothem Zellsaft die Gefässbündel. In diesen Zellen wird der Zellsaft schnell gelbröthlich, wenn man z. B. 1 proc. Wasserstoffdioxyd auf ein Nebenblatt direct wirken lässt. Zugleich erhalten die zuvor farblosen Zellen einen etwas gelbgrünen Zellsaft und es ist deshalb wahrscheinlich, dass aus diesem Oxydationsproduct eines farblosen Chromogens und der Färbung des Oxydationsproductes des rothen Farbstoffs das Colorit der zuvor purpurrothen Zellen resultirt. In gleicher Weise reagiren auch die farblosen und die vereinzelt vorkommenden rothen Zellen in den Schwimmblättern dieser Pflanze.

Da der Zellsaft in den Nebenblättern mit Spuren von Säure heller roth, mit Spuren von Ammoniak aber zunächst blau wird, so ist er schwach sauer. Diese Reaction ändert sich während der Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd nicht, wie sich daraus entnehmen lässt, dass das rothe Colorit bis zum Schwinden des Farbstoffs bleibt und die Farbenänderungen durch Säure und Alkali in dem entfärbten Zellsaft eine schwach saure Reaction in diesem anzeigen.

Atriplex hortense L. var. rubrum.

Die schön kirschrothen Stengel dieser Varietät enthalten rothen und sauren Zellsaft in den Epidermiszellen, der in ähnlicher Weise wie bei Hydrocharis durch Wasserstoffsuperoxyd gelbroth gefärbt wird. Es tritt dieses auch makroskopisch sehr schön hervor, wenn

man ganze Stengelstücke in Wasserstoffsuperoxyd bringt, das aber, der Cuticula halber, concentrirter, etwa 3 procentig, zu nehmen ist. Die Epidermiszellen besitzen keine Protoplasmaströmung, erwiesen sich aber 3 Tage nach der Entfärbung, oder richtiger Verfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd lebendig.

Coleus spec.

Von dieser Gartenform mit tief rothen Blättern wurden die Epidermis der Blattunterseite und deren Haare z. Th. an Blattquerschnitten, z. Th. an abgezogenen Epidermisstreifen der Prüfung unterzogen. Der purpurrothe Zellsaft dieser Haare ist schwach sauer, da er mit etwas Säure heller, mit Ammoncarbonat zunächst blau wird.

Mit 5 proc. Wasserstoffsuperoxyd, unter öfterem Erneuern dieses, unter Deckglas behandelt, war der Zellsaft nach 2 Stunden, namentlich in den Epidermiszellen und in den Basalzellen der Haare theilweise stark abgeblasst, aber erst nach 3 Stunden waren diese Zellen zum Theil ganz entfärbt. Diese Entfärbung wird aber hier durch alkalische Reaction im Zellsaft erheblich beschleunigt. Denn bei Verwendung von 5 proc. Wasserstoffsuperoxyd, welches 0,1 % Ammoncarbonat enthielt, war in dem zunächst blau werdenden Zellsaft die Entfärbung in $^3/_4$ Stunden so weit fortgeschritten, als während 3 bis 4 Stunden in dem sauren Zellsaft. Das gleiche Resultat wurde auch erreicht, als die Objecte zunächst während $^1/_2$ Stunde in 0,1 proc. Ammoncarbonat und dann in neutrales Wasserstoffdioxyd gebracht wurden.

Da diese Zellen keine Protoplasmaströmung besitzen, so konnte nur constatirt werden, dass die entfärbten Zellen dem Ansehen und der Plamolyse nach lebend waren.

Phlox paniculata L.

Die Kelchzipfel dieser Gartenform enthielten schön purpurrothen Zellsaft in den chlorophyllführenden Zellen. Diese wurden durch 5 proc. Wasserstoffsuperoxyd schnell entfärbt, bei beginnender Einwirkung wurde aber der Zellsaft zunächst, in ähnlicher Weise wie durch Spuren von Säuren, mehr feuerroth. In diesem Falle wird also durch Wasserstoffsuperoxyd, vermuthlich durch irgend welche anderweitige Oxydationsvorgänge in der Zelle, etwas Säure gebildet.

Weitere Beispiele für positiven oder negativen Erfolg in farbigen Zellen sind früher (p. 386) angeführt. Aus diesen ist zu entnehmen, dass viel häufiger Nichtentfärbung für rothe, als für blaue Zellsäfte gefunden wurde. Doch würden nur weitere Versuche entscheiden können, ob allgemeiner saure Reaction im Zellsaft die Oxydationswirkung des Wasserstoffsuperoxydes erschwert (vgl. auch Cap. 3). Es sei deshalb auch nur nebenbei erwähnt, dass bei Verbena hybrida der feuerrothe Zellsaft in der Corolle durch Wasserstoffsuperoxyd nicht entfärbt wird, während der dunkelrothe Zellsaft in den am Schlund der Blumenkrone befindlichen Haaren ziemlich leicht entfärbt wird. Ebenso theile ich nur die Thatsache mit, dass in den rothen Drüsenhaaren von Drosera intermedia Wasserstoffsuperoxyd eine Ausscheidung im Zellsaft, wie Ammoncarbonat und verschiedene Stoffe, indess keine auffällige Entfärbung erzielt.

Farbstoffkörper.

In den beschränkten Versuchen konnte ich durch Wasserstoffsuperoxyd keine Farbenänderungen in Chromatophoren wahrnehmen. Dieses Resultat wurde erhalten mit den gelben, resp. rothen Farbstoffkörpern der Corolle von Tropaeolum majus L., resp. Aloe verrucosa L., ferner mit den Chlorophyllkörpern von Funaria hygrometrica, Mnium undulatum, Elodea canadensis, Nitella spec., Spirogyra, Zygnema.

Monotropa hypopitys L.

Diese Pflanze bietet Interesse, weil sie sich mit dem Tode an der Luft sehr schnell dunkel färbt, während durch Wasserstoffsuperoxyd keine oder doch geringe Färbung erreichbar war. Ich operirte mit den schuppenförmigen Stengelblättern, welche theilweise intact, theilweise in dünnen Schnitten mit 1, 3, 10 und 20 proc. Wasserstoffdioxyd behandelt wurden. So lange die Zellen plasmolysirbar waren, erzielte ich aber entweder gar keine oder doch nur eine leichte bräunliche Färbung im Zellsaft einiger oder auch vieler Zellen. Dieses zeigt aber, dass Wasserstoffsuperoxyd thatsächlich in den Zellsaft gelangte und nicht etwa in mangelndem Eindringen die Ursache des negativen Erfolges zu suchen ist. An Schnitten dringt übrigens Wasserstoffsuperoxyd ziemlich leicht ein. Denn schon verdünnte

Lösungen dieses Reagens erzielten schnell die genannten Färbungen, welche durch concentrirtes Wasserstoffdioxyd nicht gesteigert werden. Schon nach diesen Thatsachen ist ausgeschlossen, dass die Färbung unterbleibt, weil Wasserstoffdioxyd das Chromogen zu farblosen Producten umändert. Uebrigens schwärzen sich auch die mit Wasserstoffsuperoxyd behandelten Schnitte beim langsamen Tödten durch Chloroform.

Bringt man die Blätter in Chloroformdampf, so werden die getödteten Blätter im Laufe von 2 bis 4 Stunden, vermöge der Oxydation durch passiven Sauerstoff, sehr dunkel gefärbt.

Indem ich nun in Folgendem noch die Pflanzen anführe, welche mit negativem Erfolg geprüft wurden, bemerke ich nochmals, dass diese Versuche in der Absicht angestellt wurden, brauchbare Indicatorpflanzen zu finden. Dieserhalb ist weder auf geringfügige Farbenreactionen geachtet, noch auch versucht, ob bei längerer Dauer oder sonst modificirter Einwirkung eine merkliche Reaction durch Wasserstoffsuperoxyd zu erhalten ist. Ausserdem können sich ja benachbarte Zellen verschieden verhalten. Aus allen diesen Gründen werden weitere Untersuchungen in manchen der genannten Pflanzen voraussichtlich wahrnehmbare Reactionen durch Wasserstoffsuperoxyd erkennen lassen.

Mit negativem Resultat wurden geprüft: die Keimwurzeln von Ervum ervilia L., Pisum sativum L., Phaseolus vulgaris L., Polygonum fagopyrum L., Euphorbia peplus L., Mirabilis Jalappa L., Helianthus annuus L., Brassica napus L., Ricinus communis L.

Stengel der Freilandpflanzen von: Convolvulus tricolor L., Myosotis palustris L., Cynoglossum officinale L., Potamogeton natans L., Verbascum thapsiforme Schrd., Melilotus macorrhiza D.C., Lupinus mutabilis L., Genista tinctoria L., Momordica elaterium L., Salix spec. (Gerbsäureblasen).

Stengel und Blätter von: Juglans regia L., Hypericum perforatum L., Elodea canadensis Rich., Potamogeton pusillus L.

Blätter von Sagittaria sagittaefolia L. (Epidermis der Schwimmblätter) und Rhizomschuppen von Sparganium natans L.

Wurzeln von Lemna minor L., Azolla filiculoides; ferner der Zuckerrübe und der rothen Rübe.

Knollen von Georgina variabilis W.[1]), Kartoffel, Zwiebelschuppen von Allium cepa L.

Schötchen von Isatis tinctoria L.

Staubfadenhaare von Centaurea jacea L., Schirm- und Drüsenhaare von Pinguicula vulgaris L.

Blätter von Mnium undulatum Hedw., Funaria hygrometrica Hedw., Scapania nemorosa N. ab E. (Oelkörper). Rhizoiden von Chara fragilis Desv.; Blätter von Nitella spec. Von Algen ferner: Spirogyra communis Ktz. und eine dickfädige Art; Zygnema spec., Mesocarpus spec., Hydrodictyon utriculatum Roth. — Mycel und Conidienträger von Penicillium glaucum, Bierhefe, Bacterium termo. Von Infusorien Chilomonas paramecium, Coleps hirtus, Vorticella spec.

III. Bemerkungen über die Oxydationswirkungen des Wasserstoffsuperoxyds.

Die beschriebenen Reactionen können natürlich benutzt werden, um das Eindringen des Wasserstoffsuperoxyds in lebende Zellen nachzuweisen, ohne dass näheres über Qualität des oxydablen und oxydirten Stoffes, sowie über die Bedingungen und Modalitäten der Reaction bekannt ist. In solcher Lage befinden wir uns thatsächlich und so sollen die folgenden Betrachtungen auch nur dazu dienen, um darzulegen, dass verschiedene Verhältnisse für das richtige Verständniss dieser Oxydationsvorgänge in der lebenden Zelle sorgfältig in Betracht zu ziehen sind. Eine tiefere Einsicht in die Oxydationsprocesse dürfte aber wohl erst durch entsprechende Studien an denjenigen isolirten Körpern zu gewinnen sein, welche uns hier als physiologische Reagentien dienen.

In jedem Falle handelt es sich in unseren Versuchen mit Wasserstoffsuperoxyd um Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen, welche in diesen der passive Sauerstoff nicht zu vollbringen vermag, der thatsächlich, wie später noch zu zeigen ist, in reichlicher Menge sich in dem Zellsaft befinden kann. Mit dem Tode freilich fallen manche der

1) Durch die Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd wird in der lebenden Zelle keine Ausscheidung von Inulin veranlasst.

Körper der Oxydation mit passivem Sauerstoff anheim, welche während des Lebens diesem nicht zugänglich waren und die Dunkelfärbung der todten Pflanzen, sowie der ausgepressten Säfte von Faba, Monotropa u. a. sind unmittelbar Zeugnisse für solche Oxydation. Diese wird aber erst ermöglicht, indem mit dem Tode zuvor räumlich getrennte Stoffe gemischt werden und so auch die Chromogene mit Körpern oder Stoffgemischen in Berührung kommen, durch deren Vermittlung sie der neutrale Sauerstoff zu oxydiren vermag. Wir werden auf diese Verhältnisse noch zu sprechen kommen (Cap. VIII), um eben zu zeigen, wie, trotz der Präsenz des neutralen Sauerstoffs im Zellsaft lebender Zellen, solche Chromogene sich erhalten können; hier aber wollte ich eine Thatsache erwähnen, welche in analoger Weise auch für die Wirkungen des Wasserstoffsuperoxyds in Betracht kommt.

Das reine Wasserstoffsuperoxyd wirkt überhaupt, wie schon früher (p. 376) bemerkt, zumeist nur mässig oxydirend, so dass es Traube gar nicht dem activirten Sauerstoff zurechnete, kann aber durch verschiedene Vermittelungen zu einem sehr energischen Oxydationsmittel werden. Sehr schön demonstriren solche Vermittelungen z. B. Stärkekleister mit Jodkali, der durch reines Wasserstoffsuperoxyd nicht, nach Zusatz von einem Minimum eines Eisensalzes aber sofort gebläut wird; ferner neutrale und saure Lösungen von Indigo- oder von Methylenblau, welche bei Gegenwart einer Spur Eisenvitriol[1]) oder Eisenlactat augenblicklich durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbt werden, während ohne solchen Zusatz ein sehr grosser Ueberschuss von Wasserstoffsuperoxyd im Dunklen eine Entfärbung erst nach Stunden oder Tagen oder auch gar nicht herbeiführt. Ein ähnliches Verhalten bietet aber offenbar das Chromogen in Faba und der Farbstoff in Tradescantia. Eine Abkochung der Blumenblätter der letztgenannten Pflanze, welche neben dem blauen Farbstoff doch immer noch verschiedene Körper enthält, verhielt sich in neutraler und saurer Lösung ganz ähnlich wie Indigocarmin, d. h. ein grosser Ueberschuss von Wasserstoffdioxyd

1) Da wir hier nur mit der Thatsache zu rechnen haben, ist es ohne Belang, ob die Eisenlösung durch abwechselnde Reduction und Oxydation oder in anderer Weise vermittelnd wirkt. (Vgl. Ostwald, Bericht. d. chem. Ges. 1888, Referate p. 275 und Meyerhoffer, ebenda p. 582.) Auch dürften wohl nicht alle Vermittelungen nach derselben Schablone wirken.

vermochte erst nach vielen Stunden zu entfärben, während ein Zusatz von etwas Eisenlactat, so dass die Lösung 0,001% von diesem Salze enthielt, eine sofortige Entfärbung durch minimale Mengen von Wasserstoffsuperoxyd herbeiführte.

Ferner wird die schwach saure Abkochung der Stengel und Wurzeln der Keimpflanzen von Faba durch Wasserstoffsuperoxyd erst nach längerer Zeit, zuweilen erst nach einigen Stunden, dunkel, während der durch Zerstampfen mit Wasser erhaltene Auszug durch dieses Reagens sich sehr schnell tief färbt. In diesem Falle sind also noch Bedingungen geboten, welche das Wasserstoffsuperoxyd zu energischer Oxydation befähigen, welche aber durch Kochen zerstört werden. Mag es sich hierbei nur um einen einzelnen Stoff, um ein Stoffgemisch, oder noch um irgend welche andere Umstände handeln, so viel ist sicher, dass in Faba und Tradescantia während des Lebens im Zellsaft Verhältnisse geboten sein müssen, welche das Wasserstoffdioxyd zu energischer Oxydation des Chromogens, resp. des Farbstoffs befähigen. Denn nach den erwähnten Thatsachen wäre es sonst nicht möglich, dass in dem schwach sauren Zellsaft von Faba und in dem neutralen Zellsaft der Blumenblätter und Staubfadenhaare von Tradescantia virginica unmittelbar mit dem Eintritt des Wasserstoffsuperoxyds die färbende, resp. entfärbende Oxydation sich vollzöge. Zu diesem Schlusse kommen wir also mit aller Sicherheit, ohne im näheren zu wissen, welcher Art die vermittelnden Bedingungen in diesen Pflanzen sind, und ob in allen Fällen irgend welche Vermittelungen nöthig sind, um in lebenden Zellen sichtbare Oxydationen durch Wasserstoffdioxyd zu ermöglichen.

Unter den für die Oxydation in Betracht kommenden Constellationen ist jedenfalls auch die Reaction des Mediums zu beachten[1]). Denn es ist z. B. für Pyrogallussäure, Gerbsäure u. s. w. bekannt, dass alkalische Beschaffenheit den Eingriff des Sauerstoffmoleküls einleitet oder doch sehr befördert[2]), andererseits giebt es auch mannigfache Oxydationsvorgänge, welche durch Säuren begünstigt werden[3]).

1) Ueber die Reaction des Zellsaftes vgl. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 293.

2) Vgl. z. B. Radszizewsky, Annal. d. Chemie 1880, Bd. 203, p. 305; Nencki und Sieber, Journ. f. prakt. Chem. 1882. N. F., Bd. 26, p. 1.

3) Vgl. Ostwald, Bericht. d. chem. Gesellsch. 1888, Referate p. 275.

Für die Abkochung und auch für den ausgepressten Saft von Faba ist ebenfalls zu constatiren, dass neutrale und alkalische Reaction die Oxydation durch passiven Sauerstoff, aber auch in merklicher Weise die Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd begünstigt, während der blaue Farbstoff in der Abkochung der Blumenblätter von Tradescantia in neutraler und saurer Lösung durch passiven Sauerstoff nicht, durch Wasserstoffdioxyd aber anscheinend gleich schnell oxydirt wird.

Nach solchen Erwägungen dürfte wohl auch in den lebenden Zellen die Reaction des Zellsaftes nicht immer dieselbe Bedeutung für Oxydationsvorgänge haben. Mit dieser, nur empirisch zu entscheidenden Frage habe ich mich nicht näher beschäftigt, doch habe ich wenigstens für Coleus bereits (p. 405) die Thatsachen mitgetheilt, nach denen in dem von Haus aus rothen und schwach sauren Zellsaft die Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd viel langsamer von statten geht, als in dem durch Ammoncarbonat gebläuten Zellsaft. In einigen Versuchen mit den Staubfadenhaaren von Tradescantia, in welchen dem Wasserstoffsuperoxyd etwas Essigsäure (1 Tropfen auf 50 ccm) zugesetzt war, schien die Oxydation in dem gerötheten, also sauer gemachten Zellsaft, ebenso schnell abzulaufen, wie in dem neutralen blauen Zellsaft. Ebenso wirkt ja das Wasserstoffsuperoxyd sehr schnell in dem an sich sauren Zellsaft bei Hydrocharis, Atriplex hortense u. a., und es muss fraglich bleiben (vgl. p. 386), ob in vielen Fällen die saure Reaction des Zellsaftes die Oxydation des Farbstoffs durch Wasserstoffsuperoxyd erschwert.

Auch in Faba vollzieht sich die Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd sehr schnell in dem schwach sauren Zellsaft, und da die ungefärbt bleibenden Zellen sich ebenso verhielten, als dem Wasserstoffsuperoxyd 0,1 % Ammoncarbonat hinzugefügt worden war, so kann die saure Reaction nicht Ursache des Ausbleibens der Oxydation in den genannten Zellen sein, die thatsächlich, wie schon mitgetheilt wurde, ein nach dem Tode sich färbendes Chromogen enthalten.

Ist auch die Sachlage nicht wirklich aufgeklärt, so hat doch die für concrete Fälle festgestellte Thatsache, dass Wasserstoffsuperoxyd Chromogene oder Farbstoffe nur bei Präsenz bestimmter Stoffe oder, allgemeiner gesagt, nur unter bestimmten Bedingungen zu oxydiren vermag, für das Verständniss unserer Versuche eine sehr wesentliche

Bedeutung. Denn daraus folgt, dass derselbe Stoff nicht in jedem Falle im Zellsaft oxydabel sein muss, und dass negatives Verhalten noch nicht ausschliesst, dass ein Chromogen oder Farbstoff zugegen ist, welche unter anderen Bedingungen eine Oxydation durch Wasserstoffsuperoxyd erfahren können. Es ist auch zu beachten, dass in den Versuchen mit lebenden Zellen schon eine sehr erschwerte Oxydation zu einem negativen Resultat führen musste, da immer nur sehr geringe Mengen von Wasserstoffsuperoxyd in den Zellsaft gelangten und zudem diese Einwirkung nur auf beschränkte Zeit ausgedehnt wurde.

So ist also auch wohl zu verstehen, dass Monotropa und andere mit dem Tode sich färbende Pflanzen, trotz des Eindringens des Wasserstoffsuperoxyds in den Zellsaft lebender Zellen, nicht reagiren (vgl. p. 406). Ebenso können trotz des positiven oder negativen Verhaltens gegen unser Reagens die blauen und rothen Farbstoffe verschiedener Pflanzen identisch sein, und es ist zwar nicht erwiesen, aber wohl möglich, dass die durch Wasserstoffsuperoxyd nicht färbbaren Zellen von Faba dasselbe Chromogen enthalten, wie die stark sich färbenden Zellen. Die Färbung von Monotropa u. a. Pflanzen nach dem Tode aber sagt nur, dass durch die Mischung der während des Lebens räumlich getrennten Stoffe irgend welche Bedingungen geschaffen werden, welche nunmehr eine Oxydation, durch den passiven Sauerstoff, in solchen Körpern ermöglichen, welche während des Lebens das Sauerstoffmolekül nicht zu spalten vermochten und theilweise auch in der lebenden Zelle nicht durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirt werden.

Die Aufhellung dieser Vorgänge dürfte aber in vieler Hinsicht von Bedeutung werden, z. B. um Rückschlüsse auf die Vertheilung von Stoffen und auf mancherlei andere Verhältnisse in der lebenden Zelle ziehen zu können. Durch künstliche Einführung bestimmter Körper in die lebende Zelle und überhaupt durch Herstellung bestimmter Versuchsbedingungen werden sich sicherlich mancherlei Aufschlüsse in der angedeuteten Richtung gewinnen lassen.

Ein allseitiges Eindringen in die angeregten Fragen dürfte erst durch das Studium der Oxydationsvorgänge unter verschiedenen Bedingungen an den rein dargestellten Farbstoffen oder Chromogenen zu erwarten sein. In dieser Hinsicht fehlen aber die Thatsachen für

die Farbstoffe, und die Chromogene in den von uns mit positivem Erfolg benutzten Pflanzen sind chemisch unbekannt. Bei solcher Sachlage können wir auch die Frage auf sich beruhen lassen, ob alle blauen oder rothen Zellsäfte denselben Farbstoff enthalten, und ob alle Farbstoffe der Blüthen und Früchte, wie Hansen[1]) annimmt, nur Derivate eines Farbstoffes sind, welcher der Gruppe der Gerbstoffe zugehört.

Die oxydablen Chromogene sind wohl nicht in allen Pflanzen identisch und vielleicht finden sich gelegentlich auch zwei oxydable Körper in einer Zelle vereint, wie es, wenigstens in der Vereinigung von Chromogen und Farbstoff, in den rothen Zellen von Hydrocharis morsus ranae der Fall ist (p. 404). Für Verschiedenheit der Chromogene in den Drüsenköpfchen von Momordica elaterium und in Faba spricht z. B. die ungleiche Färbung des Oxydationsproductes, und voraussichtlich sind auch diejenigen Stoffe z. B. in Monotropa, Kartoffel, Georgina, Runkelrübe verschieden, welche nach dem Tode durch den passiven Sauerstoff farbige Producte liefern. Von diesen hat Reinke[2]) das Chromogen der Runkelrübe einigermassen isolirt und Rhodogen, den daraus durch Oxydation entstehenden Farbstoff Betaroth genannt.

Ob die Chromogene chemisch verwandte Körper sind oder nicht, wird sich erst nach Kenntniss ihrer chemischen Qualität sagen lassen. Wenigstens der Gruppe der mit Kaliumbichromat und Eisen reagirenden Gerbstoffe gehören nicht alle Chromogene an, da sich diese Gerbstoffe, wie schon erwähnt[3]), in den Wurzelhaaren von Trianea bogotensis nur in einer minimalen Menge finden, welche gegenüber der Masse des farbigen Oxydationsproductes nicht in Betracht kommt. Und wenn in Faba Gerbstoff in den sich färbenden Zellen vorhanden

---

1) Die Farbstoffe der Blüthen u. Früchte 1884, p. 12.

2) Zeitschrift f. physiol. Chemie 1882, Bd. 6, p. 269. In dieser Abhandlung finden sich auch einige Bemerkungen über die Chromogene in der Kartoffel, in Georgina und in Aethalium septicum.

3) Vgl. S. 402. Hier sind auch Beobachtungen mitgetheilt, nach denen der oxydable Körper in den Wurzelhaaren verschieden ist von dem, welcher Methylenblau speichert. Der gleichfalls Methylenblau speichernde Körper in der Wurzel von Lemna und in Zygnema ist durch Wasserstoffhyperoxyd in den lebenden Zellen nicht oxydabel.

ist, so folgt daraus noch nicht, dass diesem auch der mit Wasserstoffsuperoxyd oxydable Körper zugehört.

Jedenfalls bedingt Gerbstoffgehalt nicht allgemein Färbungsfähigkeit durch Wasserstoffsuperoxyd. Denn dieses erzielt z. B. keine Färbung in den Gerbsäureblasen von Salix spec., von Zygnema und Mesocarpus und in dem sehr reichlich Gerbstoff führenden Zellsaft von Spirogyra, der Wurzel von Azolla filiculoides und von Euphorbia peplus[1]). Auch wird Tannin keineswegs leicht durch Wasserstoffdioxyd oxydirt. Dieses bewirkte in neutraler und schwach sauren Lösungen des Galläpfelgerbstoffs bei grossem Ueberschuss selbst nach 24 Stunden keine oder doch nur höchst unbedeutende Färbung. Wenn gleiches negatives Resultat auch bei Zufügung von etwas ausgepresstem Saft von Momordica elaterium erreicht wurde, so ist damit wieder nicht ausgeschlossen, dass unter anderen Bedingungen dieser oder ein anderer Gerbstoff farbige Producte liefert. Thatsächlich wird ja Tannin langsam in neutraler, und schneller in alkalischer Lösung, schon durch den passiven Sauerstoff oxydirt, und wenn durch solche Vorgänge wohl mehrfach die Färbung todter Pflanzentheile veranlasst sein mag[2]), so folgt daraus nicht die Nothwendigkeit, dass auch Wasserstoffsuperoxyd den Gerbstoff in der lebenden Zelle oxydirt. Ueberhaupt ist nicht zu vergessen, dass der Eingriff dieses Reagens im Leben recht wohl andere Stoffe treffen und andere Producte liefern kann, als die erst mit dem Tode eintretende Oxydation durch passiven Sauerstoff. Auch für Faba kann nur empirisch entschieden werden, ob die Schwärzung nach dem Tode von denselben Stoffen herrührt, welche Wasserstoffsuperoxyd in einem Theile der lebenden Zelle zu farbigen Producten umwandelt.

Wie die Chromogene sind auch die unbekannten farbigen Oxydationsproducte sicherlich recht verschieden, denn es ist eine Eigenschaft vieler Stoffe farbige Producte zu liefern, wie die häufige Färbung von Pflanzentheilen nach dem Tode und die späteren Verwesungsproducte zeigen. Ueber diese heterogenen Dinge, die als Phlobaphene und Huminsubstanzen zusammengefasst werden, fehlt eine nähere

1) Vgl. Ueber den Gerbstoffgehalt. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 212 ff.

2) Vgl. G. Kraus, Physiologie d. Gerbstoffs. 1889, p. 30.

chemische Kenntniss noch ganz[1]). Zu dieser Kategorie kann man bis auf weitere Aufhellung, wenn man will, vorläufig auch unsere farbigen Oxydationsproducte rechnen, und zu jener unbestimmten Gesellschaft von Körpern zählen auch solche, die schneller oder langsamer, sowie die Oxydationsproducte in Faba und ebenso die Ammoncarbonatfällung des Gerbstoffs (vgl. p. 381), sich in relativ unlösliche Stoffe verwandeln.

Abgesehen davon, dass Wasserstoffsuperoxyd vermuthlich an Stelle des neutralen Sauerstoffs im Athmungsprocess treten kann, wird dieses Reagens sicherlich auch noch andere Wirkungen in der lebenden Zelle erzielen, welche nicht durch eine Farbenänderung sich zu erkennen geben. Solche Vorgänge, die nicht in Oxydationen von Farbstoffen oder Chromogenen bestehen, werden wohl weitere Studien durch irgend welche directe oder indirecte Reactionen zu erkennen lehren. Auf eine ganz schwache Säureproduction durch die Oxydation deutet die mitgetheilte (p. 405) Farbenänderung im rothen Zellsaft der Kelchzipfel von Phlox paniculata hin. In den anderen Versuchspflanzen wurde keine auffällige Aenderung in der neutralen oder sauren Reaction der Zellsäfte wahrgenommen. Ist es auch wohl möglich, dass weiterhin andere Resultate aufgefunden werden, so darf man doch aus der Oxydationsfähigkeit der Oxalsäure und auch einiger anderer Säuren noch nicht darauf schliessen, dass Wasserstoffsuperoxyd in den lebenden Zellen diese Säuren oxydiren muss. Denn einmal finden sich diese Säuren im Zellsaft voraussichtlich gewöhnlich als Salze, und dann dürften die Versuche Wurster's[2]) über Oxydationen organischer Säuren mit Wasserstoffsuperoxyd vorgenommen sein, welches gegenüber den sehr kleinen Mengen, die in den Zellsaft der lebenden Zelle gelangen, sehr concentrirt war.

Die Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds auf andere in der lebenden Pflanzenzelle vorkommende oxydable Stoffe, wie ätherische Oele, Campher u. s. w. wurde nicht untersucht. Beiläufig sei noch erwähnt, dass in den mit dem Tode sich schön bläuenden Früchten

1) Vgl. Husemann, Die Pflanzenstoffe. 1882, II. Aufl., Bd. 1, p. 261; Hoppe-Seyler, Zeitschr. f. physiol. Chemie 1889, Bd. 13, p. 66.

2) Centralblatt f. Physiologie 1887, I, p. 34. — Ueber ungleiche Oxydationsfähigkeit organischer Säuren vgl. auch Salzer, Ber. d. chem. Ges. 1888, p. 1910.

von Isatis tinctoria durch Wasserstoffsuperoxyd keine Indigobildung hervorgerufen wurde. Vermuthlich wird aus naheliegenden Gründen ein negatives Resultat sich ebenso in anderen Fällen ergeben, in denen die Umsetzung von fermentativen und enzymatischen Processen abhängt.

IV. Versuche mit Cyanin.

In vieler Hinsicht würde es werthvoll sein, an künstlich eingeführten und ihrer Qualität nach bekannten Farbstoffen die Wirkungen des Wasserstoffsuperoxyds in der lebenden Zelle verfolgen zu können[1]). Zweifellos werden ausgedehntere Versuche noch mehrfach von Erfolg gekrönt sein, doch habe ich bis dahin nur Cyanin als wirklich brauchbares Reagens für unsere Zwecke kennen gelernt, das ganz besonders werthvoll dadurch wird, dass es im Protoplasmakörper selbst durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirt wird.

Die Färbung des Protoplasmas durch Cyanin habe ich früher beschrieben[2]). Wie damals stellte ich mir auch jetzt durch Erwärmen des Cyanins mit Wasser eine blaue Lösung dar, die ohne nähere Kenntniss des Gehaltes, immer in mässiger Färbung und nöthigenfalls in sehr weit gehender Verdünnung zur Anwendung kam.

Als Versuchsobject dienten wiederum die Wurzelhaare von Trianea bogotensis, deren Protoplasma nach 3—15 Minuten langem Einlegen in mässig gefärbte Cyaninlösung schön himmelblau gefärbt wird, während im Zellsaft nur Spuren sich endlich bläuender Körnchen auftreten, da Cyanin in den Zellsaft dieser Wurzelhaare nicht erheblich, wie es für Methylenblau und Methylviolett zutrifft, gespeichert wird. Die hauptsächlichst sich färbenden Theile des Protoplasmas sind die Mikrosomen und differenzirte Plasmapartien, für welche ich früher[3]) die vorläufige Bezeichnung grana benutzte.

Das blaugefärbte Protoplasma der Wurzelhaare änderte seine Färbung im Laufe 1 Stunde nur wenig, wurde aber nach 4 Stunden

1) Es ist dieses ein weiteres Beispiel, wie mannigfacher Verwendung für physiologische Zwecke die Aufnahme von Farbstoffen in lebende Zellen fähig ist. Vgl. hierüber Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. II, p. 324.

2) L. c. p. 259.

3) L. c. p. 252, 259.

blasser, war indess noch nach 24 Stunden schwach aber deutlich gefärbt. So wenigstens fielen die Versuche in Dunkelheit und in sehr gedämpftem Lichte aus, während stärkere Beleuchtung schnelleres Abblassen bewirkte.

Durch die oxydirende Wirkung des Wasserstoffdioxyds wird aber sehr schnell eine gänzliche Entfärbung des Protoplasmas herbeigeführt. Unter Deckglas wurde beim Durchsaugen einer 0,01 proc. Lösung unseres Reagens nach $^1/_2$ Minute beginnende und nach 1 bis 3 Minuten totale Entfärbung beobachtet, und bei Verwendung von 0,1 proc. Wasserstoffsuperoxyd war zuweilen die Entfärbung in weniger als 1 Minute vollendet.

Besonders bei Verwendung von 0,01 proc. Wasserstoffsuperoxyd trat öfters deutlich hervor, dass sich zunächst die dem Wasserstoffsuperoxyd am leichtesten zugänglichen Partien des Protoplasmas entfärbten, d. h. der Wandbelag des frei hervorstehenden Theiles des Wurzelhaares. Die jetzt noch blauen Plasmastränge, welche den Zellsaft durchquerten und ebenso die blauen Protoplasmamassen in der eingesenkten Basis des Haares, entfärbten sich dann allmählich, während sie durch die Strömung in die Wandschicht geführt wurden.

Die Oxydationsfärbung im Zellsaft der Wurzelhaare von Trianea beginnt entweder erst nach der Entfärbung des Cyanins oder bevor diese vollendet ist. Letzteres war die Regel bei Anwendung von 0,1 proc. Wasserstoffsuperoxyd, während ersteres öfters bei 0,01 proc. Reagens zutraf. Bei concentrirterer Lösung gelangt eben das schneller eindringende Wasserstoffsuperoxyd durch dünne Wandschichten des Plasmas bis zum Zellsaft, bevor die derzeit im Grunde des Haares befindlichen blauen Plasmamassen entfärbt sind, und es ist wohl möglich, dass bei stürmischerem Vordringen ein Theil des Reagens selbst blaue Plasmaschichten durcheilen kann. Denn, wenn die Entfärbung in diesen thatsächlich, wie die mitgetheilten Erfahrungen zeigen, sehr schnell von statten geht, so braucht die Reaction dieserhalb doch nicht so augenblicklich einzutreten, dass nicht bei reichlicherem Wasserstoffsuperoxyd ein Theil dieses sogleich bis zum Zellsaft enteilt. Dieses kommt weniger leicht bei langsamem Eindringen vor, indem so das Wasserstoffsuperoxyd Gelegenheit findet, zunächst in dem Protoplasma, auch in dem aus dem Grunde des Haares nachrückenden, die Oxydation des Cyanins zu vollbringen, bevor erhebliche Mengen von

Wasserstoffsuperoxyd bis in den Zellsaft gelangen. Thatsächlich muss so die Oxydation des Cyanins das Vordringen des Wasserstoffsuperoxyds bis zum Zellsaft ein wenig verzögern, doch ist die Menge des Cyanins im Protoplasma so gering, dass eine auffällige Verzögerung gar nicht erwartet werden kann. Der geringen von Protoplasma gebundenen Farbstoffmenge halber gelangt ja auch Methylviolett, trotz ansehnlicher Tingirung des Protoplasmas, sehr schnell bis in den Zellsaft der Wurzelhaare von Trianea[1]).

Nach der Entfärbung kehrt, auch nach sofortigem Auswaschen des Wasserstoffdioxyds, die Färbung des Protoplasmas nie wieder, während die Färbungsfähigkeit verbleibt, denn unmittelbar nach der Einwirkung des Wasserstoffsuperoxyds kann man, bei Verwendung einer nicht zu verdünnten Cyaninlösung, schon nach ½ Minute beginnende Bläuung des Protoplasmas constatiren. Es handelt sich also um dauernde Beseitigung des Cyanins ohne Beeinträchtigung der speichernden Stoffe, und dass diese Entfärbung durch Oxydation, nicht etwa durch Exosmose oder durch Ansäuerung zu Stande kommt, lehren die folgenden Erwägungen.

Durch Säure wird bekanntlich Cyanin entfärbt, durch Neutralisation aber wieder seine blaue Farbe hergestellt. Abgesehen davon, dass eine Säurebildung im Protoplasma durch Wasserstoffsuperoxydwirkung nicht wahrscheinlich ist, lässt sich direct zeigen, dass nicht Säure die Ursache der fraglichen Entfärbung des Cyanins ist. Denn diese geht ebenso von statten, wenn dem 0,01 proc. Wasserstoffsuperoxyd 0,1 oder 1% Ammoncarbonat zugesetzt ist, welches nachweislich schnell seinen Weg in das Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea findet.

Cyanin wird aber thatsächlich durch Wasserstoffsuperoxyd, und wie wir noch hören werden, je nach Umständen sehr schnell zu einem farblosen Körper oxydirt. Ferner hat Wasserstoffsuperoxyd keinen beschleunigenden Einfluss auf die Entfärbung des durch Methylviolett oder Safranin gefärbten Protoplasmas der Wurzelhaare von Trianea. Wenn aber unser Reagens eine Exosmose dieser der Oxydation widerstehenden Farbstoffe nicht zu veranlassen vermag, so ist um so weniger irgend Veranlassung, eine derartige Wirkung

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen II, p. 250.

bezüglich des Cyanins anzunehmen, als die directe Beobachtung, besonders an dickeren Plasmalagen zeigt, dass das Verschwinden des Cyanins in dem Maasse des Eindringens des Wasserstoffsuperoxyds in solcher Weise geschieht, dass nur eine Entfärbung an Ort und Stelle, also eine Oxydation möglich ist.

Das erst nach Stunden merklich werdende und erst nach langer Zeit vollendete Verschwinden des Cyanins aus dem Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea hat keine Bedeutung für die Reaction mit Wasserstoffsuperoxyd, welche nur Minuten erfordert. Eine solche allmähliche Entfärbung erfährt auch das mit Methylviolett gefärbte Protoplasma, und zwar indem der Farbstoff allmählich exosmirt und in dem Zellsaft gespeichert wird[1]). In gleicher Weise wird aber auch das Cyanin diosmotisch entfernt. Denn färbt man das Protoplasma in den Wurzelhaaren von Trianea durch kürzere Einwirkung von verdünnter Cyaninlösung nur mässig blau, und wäscht dann sorgfältigst ab, so fehlen zunächst, auch nach Einwirkung von 0,2 proc. Ammoncarbonat, in dem Zellsaft blaue Körnchen[2]), welche in kleiner Zahl nach der Entfärbung des Protoplasmas vorhanden sind, und so den Austritt des unveränderten Farbstoffs aus dem Protoplasma beweisen.

Dabei habe ich nur Versuche im Dunkeln im Auge, denn in directem oder hellem diffusem Sonnenlicht wird die wässrige Lösung von Cyanin und ebenso das mit diesem gefärbte Protoplasma in Trianea ziemlich schnell entfärbt. Diese Uebereinstimmung ist nur ein weiterer Beweis, dass das lebensthätige Protoplasma keine oxydirende Wirkung gegen das leicht verbrennliche Cyanin ausübt, welches bei Beleuchtung schon durch den passiven Sauerstoff oxydirt wird[3]).

Unter Erwägung, dass im Dunkeln das Cyanin so langsam und offenbar nur durch Exosmose schwindet, kann man mit Sicherheit auf das Fehlen von Wasserstoffsuperoxyd und ebenso von anderem noch wirksamen activirten Sauerstoff in dem normal lebensthätigen und athmenden Protoplasma schliessen. Denn würden auch in jedem Augenblick nur sehr kleine Mengen von activirtem Sauerstoff entstehen, so müssten diese doch die ungemein geringe Quantität des

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 250.

2) Ebenda, p. 260.

3) Vgl. auch Schönbein, Zeitschrift f. Chemie 1865, Bd. 8, p. 734.

gespeicherten Cyanins sehr bald entfärben[1]), während thatsächlich eine ganz schwache Anfärbung des Protoplasmas unserer Wurzelhaare noch nach 24 Stunden bemerklich ist, weil, entsprechend der exosmotischen Entfernung, die Entziehung des Cyanins mit Abnahme der im Protoplasma gespeicherten Farbstoffmenge sich verlangsamt.

Solche directe Beobachtungen stellte ich nur mit dem Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea an, welche Cyanin besonders schön speichern, doch führen auch andere Versuche zu demselben Schlusse, dass Cyanin nicht durch das lebensthätige Protoplasma oxydirt wird. Es folgt dieses aus verschiedenen Versuchen, in welchen Spirogyra communis in 800 ccm einer sehr verdünnten, farblos erscheinenden Lösung von Cyanin gebracht wurde, der, um sie jedenfalls neutral zu erhalten, 0,05 % Natriumdicarbonat hinzugefügt war. Bei Aufenthalt im Dunkeln waren, je nach der Verdünnung, erst nach 24 oder auch erst nach 48 und 72 Stunden Spuren der Cyaninspeicherung im Zellsaft zu erkennen, die nach Einwirkung von etwas Ammoncarbonat noch besser hervortrat, da durch dieses die Körnchen des gerbsauren Cyanins stärker gebläut wurden[2]). Wurde auch die Verdünnung nicht näher bestimmt, so dürften doch nach annähernder Controle sicher weniger als 1 Theil Cyanin in 100 Millionen Theilen der verdünntesten Lösungen enthalten gewesen sein. Jedenfalls gelangten also in jedem Augenblick nur verschwindend geringe Mengen des Farbstoffs in das Protoplasma, und bei irgend merklicher Oxydationswirkung dieses auf das Cyanin wären diese Spuren dauernd durch Oxydation entfärbt worden und Farbstoff hätte nicht unverändert in den Zellsaft gelangen können.

Durch directe Versuche mit dem durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbten Cyanin überzeugte ich mich, dass auch bei ansehnlicherer Menge des Oxydationsproductes der Zellsaft der genannten Pflanzen keine blauen Körnchen enthielt, dass also die Pflanze zu einer Wiederbildung des Cyanins nicht befähigt ist. In diesen Versuchen war, beiläufig bemerkt, die concentrirte Lösung des Cyanins mit thun-

1) Selbst wenn man, entgegen den obigen beweisenden Argumenten, eine Exosmose des Cyanins als Ursache der Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd annehmen wollte, würde doch ebenso das Ausbleiben der Entfärbung gegen die Existenz des Wasserstoffsuperoxyds im Protoplasma zeugen.

2) Vgl. Pfeffer, l. c. p. 260.

lichster Vermeidung eines Ueberschusses durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirt, dann durch Aufkochen der etwaige Ueberschuss möglichst zerstört und dann erst die Verdünnung mit Wasser vorgenommen worden. Das Ausbleiben einer Zellsaftfärbung in den Wurzelhaaren von Trianea zeigte, dass wirksame Mengen von Wasserstoffsuperoxyd fehlten und dass auch in dieser Pflanze keine Reduction des Oxydationsproductes stattfindet.

Ferner lässt sich aus Versuchen mit Penicillium glaucum entnehmen, dass auch dieser Schimmelpilz in dem lebensthätigen Protoplasma Cyanin nicht oxydirt. Diese Experimente finden aber vortheilhafter erst weiterhin (Cap. 10) Besprechung und so sei hier nur angedeutet, dass in ihnen Culturen von Penicillium auf verdünnte Cyaninlösung kamen, die natürlich hätte entfärbt werden müssen, wenn der in das Protoplasma eindringende Farbstoff in diesem eine Oxydation erführe.

Wichtig ist der directe Nachweis der überaus schnellen entfärbenden Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds auf das im lebenden Protoplasma aufgespeicherte Cyanin, denn dieses wird in unlöslichen Vereinigungen theilweise nur schwer oxydirt. Ja es müssen in dem Protoplasma sogar vermittelnde Bedingungen für die Oxydation in dem früher gekennzeichneten Sinne bestehen, da das von mir benutzte Cyanin durch Wasserstoffsuperoxyd zwar in neutraler und alkalischer Lösung in ungefähr 2 bis 5 Minuten, augenblicklich aber erst nach Zusatz einer Spur von Eisensalz entfärbt wurde. Dieser ausgezeichneten Reaction halber empfahl auch Schönbein[1]) das Cyanin als eines der empfindlichsten Reagentien für Ozon und für Wasserstoffsuperoxyd. Und wenn letzteres nach Schönbein auf Cyanin erst nach Eisenzusatz oxydirend wirkt, so liegt darin kein Widerspruch gegen meinen Befund, da die Handelswaare keineswegs immer dasselbe Salz und auch nicht immer frei von kleinen Beimengungen ist, welche wirksam eingreifen können.

Wie schwer aber Cyanin in gewissen Vereinigungen oxydabel ist, das lehren z. B. die in Spirogyra communis entstandenen Körnchen von gerbsaurem Cyanin, welche nöthigenfalls durch etwas

1) Zeitschrift f. Chemie 1865, Bd. 8, p. 734. Auch Journal f. prakt. Chemie Bd. 96, p. 385, 449.

Ammoncarbonat zunächst schön gebläut werden können. Diese behaupteten nämlich, auch nach dem Tode der Zelle, während einiger Stunden in 5 proc. Wasserstoffsuperoxyd eine blaue Farbe und ähnlich verhielten sich die blauen Flocken, welche aus in Wasser vertheiltem und dann mit Cyanin versetztem Hühnereiweiss sich absetzten. Uebrigens bedarf es auch schon erheblicher oder andauernder Säurewirkung, um hierdurch das sonst so fein reagirende Cyanin in der genannten Gerbsäureverbindung zu entfärben[1]). Analog vermag auch Wasserstoffsuperoxyd nur schwierig den sonst so leicht entfärbbaren blauen Farbstoff zu oxydiren, welcher in den Staubfadenhaaren von Tradescantia mit niedergerissen wird, wenn noch vor beendigter Entfärbung eine Ausscheidung im Zellsaft eintritt (vgl. p. 384).

Auf Grund dieser Erfahrungen und durch weitere Studien könnte es wohl auch einmal gelingen, bestimmtere Anhaltspunkte für die Art und die Ursache der Speicherung des Cyanins im Protoplasma zu gewinnen. Jedenfalls ist Cyanin in diesem, wie die allmähliche Entfernung durch Exosmose lehrt, weniger fest gebunden, als in der gerbsauren Verbindung im Zellsaft, den es ohne besondere Eingriffe nicht wieder verlässt.

V. Versuche mit einigen anderen Farbstoffen.

Mit anderen Farbstoffen wurden zwar keine brauchbaren Oxydationserfolge erreicht, doch ist eine kurze Mittheilung der negativen Resultate geboten.

Methylenblau.

Dieser Farbstoff wird bei Gegenwart von ein wenig Eisensalz in neutraler und alkalischer Lösung sehr schnell und leicht durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbt, während ohne solchen Eisenzusatz, oder auch nach Hinzufügen des ausgepressten Saftes von Momordica elaterium, die Oxydation gar nicht oder jedenfalls sehr langsam eintritt. Bei solchem Verhalten ist es wohl möglich, dass in bestimmten Fällen das in lebenden Zellen gespeicherte Methylenblau

1) Pfeffer, l. c. p. 260.

durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirt werden kann, doch haben die bisherigen Versuche negative Resultate ergeben.

So konnte ich bei geringer und ansehnlicher Speicherung von Methylenblau in den Wurzeln von Lemna minor[1]) durch Wasserstoffsuperoxyd keine Veränderung in den lebenden Zellen finden, mochte ich nun 1- oder 0,1 proc. Lösung kürzere Zeit, oder eine 0,003 proc. Lösung des Reagens während 24 Stunden wirken lassen, und zwar lieferten sowohl die Zellen mit gelöster, als mit krystallinisch ausgeschiedener Methylenblauverbindung dasselbe Resultat. Ebenso fand ich keine Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd für die in den Zellen von Spirogyra communis und den Wurzelhaaren von Azolla filiculoides[2]) ausgeschiedenen Körnchen von gerbsaurem Methylenblau. Auch bewirkt Wasserstoffsuperoxyd keine Entfärbung der früher (p. 401) erwähnten, durch Methylenblau gefärbten Ausscheidung, welche unser Reagens in Wurzelhaaren von Trianea hervorruft.

Unter diesen Versuchen ist am meisten Werth auf die Experimente mit denjenigen Zellen der Wurzel von Lemna minor zu legen, in welchen das gespeicherte Methylenblau als gelöste Verbindung enthalten war. In diesen Zellen ist also im Zellsaft kein Körper und keine Bedingung geboten, welche, analog wie Eisensalz, die Oxydation des Methylenblaus durch Wasserstoffsuperoxyd herbeiführt. Ebenso kann letzteres den speichernden Körper nicht oxydiren oder zu Säurebildung im Zellsaft Veranlassung geben, denn in beiden Fällen würde unvermeidlich Exosmose des Methylenblaus eintreten, wie des Näheren aus den seiner Zeit von mir nachgewiesenen Bedingungen für Speicherung und Exosmose zu entnehmen ist.

Das farblose Oxydationsproduct des Methylenblaus nimmt beim Stehen an der Luft nicht wieder Färbung an, und als dieses Oxydationsproduct, in der bei Cyanin beschriebenen Weise (p. 420), den Wurzeln von Trianea, Lemna und Azolla geboten wurde, kam ebenfalls blaue Färbung in den Zellen nicht zu Wege.

Anschliessend mögen hier auch einige Versuche mitgetheilt

---

1) Näheres über die Speicherung von Methylenblau vgl. Pfeffer, l. c., p. 213.

2) Ebenda p. 212 und 218. Azolla filiculoides verhält sich ähnlich wie Azolla caroliniana.

werden, welche, in Bestätigung früherer Argumente[1]), zeigen, dass das lebende Protoplasma durch Methylenblau des mangelnden Speicherungsvermögens halber ungefärbt bleibt, nicht aber, weil es in sich aus dem Farbstoff das Leukoproduct des Methylenblaus bildet. Das leicht zu dem blauen Farbstoff oxydirbare Leukomethylenblau kann natürlich im Protoplasma nicht entstehen, wenn in diesem sich gleichzeitig Wasserstoffdioxyd befindet. Beim Zusammengreifen von Wasserstoffsuperoxyd und Methylenblau bleibt indess das Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea ebenfalls farblos, während sich allmählich im Zellsaft die Methylenblauspeicherung und die Oxydationsfärbung bemerklich machen.

Ich prüfte folgende Gemische in ihrer Wirkung auf die Wurzelhaare von Trianea, während diese unter dem von dickeren Papierstreifen getragenen Deckglas gehalten wurden: 1) 0,002 % Methylenblau + 0,05 % Wasserstoffsuperoxyd, 2) 0,002 % Methylenblau + 0,01 % Wasserstoffsuperoxyd.

Bei Verwendung von Haaren, deren Zellwand keinen Farbstoff speicherte (nöthigenfalls ist solches durch Zugabe von 0,5 % Salpeter erreichbar) fand sich, wie gesagt, nie eine Blaufärbung in dem normal strömenden Protoplasma. Dass aber gleichzeitig Methylenblau und Wasserstoffsuperoxyd das Protoplasma passirten, zeigte das Auftreten der beiderlei Färbungen im Zellsaft an. Auch ist mit 0,002 % Methylenblau für sich zu constatiren, dass schon nach 2—5 Minuten Färbung im Zellsaft bemerklich wird, und des sofortigen Eindringens des Wasserstoffsuperoxyds in den angewendeten Concentrationen ist früher gedacht worden.

Methylviolett und Safranin.

Für Methylviolett und Safranin, welche das Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea violett, resp. roth färben[2]), constatirte ich nur, dass in dem so tingirten lebenden Protoplasma eine Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd nicht eintritt.

---

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 279. Vgl. auch diese Abhandl. Cap. 13.

2) Vgl. Pfeffer, l. c., p. 247, 266.

Ausserdem stellte ich noch einige Versuche mit Dimethylparaphenylendiamin und Tetramethylparaphenylendiamin an, aus welchen Wurster[1]) Reagenspapiere für den Nachweis von activirtem Sauerstoff herstellte. Ich erhielt indess mit diesen Körpern, welche in Folgendem kurz als Dibase und Tetrabase bezeichnet werden sollen, keine Resultate, welche zu weitern Studien Veranlassung gaben. Beide Basen waren von Dr. Schuchhardt in Görlitz bezogen, wurden für meine Versuche in etwas Citronensäure gelöst und dann, ohne nähere Gehaltsbestimmung, so weit verdünnt, dass die nur schwach saure Flüssigkeit nach längerer Zeit oder gar nicht einen schädlichen Einfluss auf die lebende Zelle der Versuchsobjecte übte. In dieser schädlichen Wirkung scheinen diese Basen etwa zwischen Methylviolett und Methylenblau zu stehen, und dem entsprechend mochte ungefähr der Verdünnungsgrad der angewandten Lösungen sein. Diese Lösungen nahmen durch die Oxydationswirkung des passiven Sauerstoffs sogleich eine gewisse, allmählich noch zunehmende Färbung an und kamen also immer als solche Farbstofflösungen in Anwendung.

Dimethylparaphenylendiamin.

Die in besagter Weise hergestellte Lösung liess ein gewisses Eindringen des Farbstoffs in die Wurzel von Azolla filiculoides, in Spirogyra vulgaris und eine andere dickfädige Spirogyra erkennen. Wenigstens fanden sich in manchen der anscheinend noch lebenden Zellen kleine Mengen rother Körnchen, ähnlich wie bei geringer Fuchsinspeicherung[2]), die augenscheinlich mit der Schädigung der Zelle sich erheblich vermehren können. Es scheint hiernach, dass im Zellsaft der genannten Pflanzen zwar eine Speicherung der Dibase (d. h. des bezüglichen Farbstoffs) möglich ist, diese aber nur schwierig und reichlicher erst dann den Weg zum Zellsaft findet, nachdem durch schädliche Einwirkungen eine grössere Permeabilität der Plasmahaut erreicht ist[3]).

Der fragliche Farbstoff vermag auch dem Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea bogotensis ein röthlichbraunes Colorit zu geben,

1) Bericht. d. chem. Gesellsch. 1886, Bd. 19, p. 3195.

2) Pfeffer, l. c. p. 265.

3) Vgl. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. II, p. 303.

das aber immer nur sehr schwach ausfiel und nicht immer sicher wahrnehmbar war. Dieserhalb schon schien die Dibase für Versuche wenig geeignet, und da Versuche mit Wasserstoffsuperoxyd keine Farbenänderung in dem so gefärbten Protoplasma erkennen liessen, so war dieser Farbstoff nicht als Reagens auf activirten Sauerstoff am Protoplasma auszunutzen, während im Cyanin ein für diesen Zweck vortrefflich geeigneter Körper zu Gebote stand. Uebrigens fand ich auch, dass nach Zugabe von Wasserstoffsuperoxyd, im Gegensatz zu dem so schnell reagirenden Cyanin, die Dibase in fast neutraler und ebenso in essigsaurer Lösung, selbst wenn eine Spur Eisenvitriol zugesetzt war, nur langsam die Farbe durch verschiedene Töne ändert.

Auf diese nur zur Orientirung unternommenen Versuche darf natürlich kein Gewicht gelegt werden. Das Mitgetheilte steht aber im Einklang mit den Cyaninversuchen, denn es spricht dafür, dass im lebensthätigen Protoplasma die Dibase nicht energischer oxydirt wird, als durch passiven Sauerstoff. Aus der bleibenden Färbung würde weiter zu entnehmen sein, dass der aus der Dibase entstandene Farbstoff im Protoplasma nicht wieder reducirt wird.

Tetramethylparaphenylendiamin.

Nach Versuchen mit den Wurzelhaaren von Trianea bogotensis dringt diese Base, resp. der in der Lösung entstandene Farbstoff, nicht in das lebende Protoplasma, kann aber nach dem Tode dieses und schon nachdem die innere Plasmahaut (Vacuolenwand) isolirt ist, im Zellsaft gespeichert werden. Versuche mit Spirogyra und Azolla führten zu keinem für Aufnahmefähigkeit sprechenden Resultate.

Indophenolweiss.

Bei Verwendung verdünnter Lösungen (circa 0,001 procentig) wurden in den Wurzelhaaren von Azolla filiculoides und Trianea bogotensis, sowie in Spirogyra communis ähnliche Erfolge beobachtet wie mit Dimethylparaphenylendiamin. Da dieses nach Gad[1]) und Wurster[2])

1) Ueber activen Sauerstoff im thierischen Organismus in Verhandlg. d. Physiolog. Gesellschaft 1887, No. 5.

2) Bericht. d. chem. Gesellschaft 1887, XX, p. 256.

neben einem Chinon leicht durch Spaltung von Indophenolweiss entsteht, so ist ein solches Resultat verständlich. Eine blaue Färbung durch Indophenolblau kam innerhalb der lebenden Zelle nicht zu Stande. Uebrigens verweise ich auf Gad und Wurster, die dargethan, dass das von Ehrlich zu Versuchen im Thierkörper benutzte Indophenolweiss kein zu Studien über Oxydationsvorgänge geeigneter Körper ist.

Alizarinblau S.

Diese Doppelverbindung von Natriumbisulfid mit Alizarinblau[1]) setzt in wässriger Lösung schon beim Stehen Alizarinblau ab. Dieses fand sich dann auch an den Zellen äusserlich anhängend, nie aber in den lebenden Zellen, als Spirogyra, Azolla, Trianea in sehr verdünnter Lösung dieses Körpers längere Zeit verweilt hatten.

VI. Wirkung von Ozon auf lebende Zellen.

In einer kleinen Reihe von Versuchen mit Ozon erwies sich dieses so giftig, dass der Protoplasmakörper stets todt war, bevor eine merkliche Oxydation im Zellsaft eintrat.

In diesen Versuchen wurde das Ozon durch elektrische Funken in einem tubulirten Glasglöckchen erzeugt. Auf den Tubulus dieses kam ein Deckglas, welches in dem Hängetropfen die Versuchsobjecte enthielt, die demgemäss dem in dem Wasser dieses Tropfens sich auflösenden Ozon ausgesetzt wurden. Diese Glöckchen fassten ungefähr 10 bis 15 ccm, waren etwa 2,5 cm hoch und ebenso breit an der Basis, mit deren abgeschliffenem Rand sie auf den ebenen Objectträger aufgesetzt wurden, während auf den engeren und ebenfalls abgeschliffenen Tubulus das Deckglas zu liegen kam. Die in dem Hängetropfen dieses Deckglases befindlichen Objecte liessen sich also während der Einwirkung des Ozons mikroskopisch beobachten. Zur Erzeugung des Ozons in dem Glasglöckchen waren in die Seitenwand dieses, wie bei Eudiometern, zwei Platindrähte eingeschmolzen, zwischen deren thunlichst genäherten Spitzen schwache elektrische

1) Ehrlich, Das Sauerstoffbedürfniss des Organismus 1885, p. 21.

Funken mit Hülfe eines Inductionsapparates erzeugt wurden. Schon bei mässig schneller Aufeinanderfolge dieser Funken entstand in 1 bis 3 Minuten genügend Ozon, um feuchtes Jodkalistärkepapier tief zu bläuen.

Kamen in den Hängetropfen Querschnitte der Wurzel von Trianea bogotensis mit ansitzenden Wurzelhaaren, so ergab sich, je nach der Schnelligkeit und Intensität der elektrischen Entladungen, nach 2 bis 20 Minuten Stillstand der Strömung und dann Deformation und Tödtung des Protoplasmas, ohne dass bis dahin eine Oxydationsfärbung im Zellsaft der Wurzelhaare bemerklich geworden war. Dieses Resultat war dasselbe, gleichviel ob sich die Objecte in Wasser oder in 0,3 proc. Lösung von Natriumdicarbonat befanden, welches in solcher Concentration nicht schädlich ist (vgl. p. 378). Ebenso fielen auch Versuche aus, in denen in der abgesperrten Glocke zunächst Ozonluft erzeugt und erst nach Sistirung der elektrischen Entladungen das Deckglas mit dem Versuchsobject in der Lösung von Natriumbicarbonat aufgelegt wurde.

Mit gleichem Erfolge stellte ich auch Versuche mit den Staubfadenhaaren von Tradescantia virginica an, in welchen sich die Wirkung ein wenig später, und, der Cuticula halber, von der verletzten Zelle aus geltend machte (vgl. S. 384). Auch in diesen Zellen war bis zur Tödtung nie eine entfärbende Wirkung im Zellsaft zu finden.

Diese Erfolge fallen nur auf das Ozon, welches in kleinen Quantitäten in der Luft entstand und, bei seiner geringen Löslichkeit in Wasser, jedenfalls nur in sehr kleinen Mengen zu den Pflanzenzellen gelangte. Salpetrige Säure, von der bei elektrischen Entladungen auch ein wenig entstehen kann, kam im freien Zustand nicht zu den in Natriumbicarbonatlösung eingebetteten Objecten und salpetrigsaures Ammonium oder Natrium sind selbst in 0,5 proc. Lösung erst nach langer Zeit schädlich. Directen elektrischen Wirkungen waren die Versuchsobjecte überhaupt nicht ausgesetzt und zudem wurde ein gleiches Resultat erhalten, als erst nach Sistirung der Entladungen das Deckglas mit dem Hängetropfen in Berührung mit der ozonhaltigen Luft kam.

Ozon gelangt also durch die Zellhaut bis zum Protoplasma, wird aber in diesem sofort zersetzt und vermag deshalb den Zellsaft nicht zu erreichen, in welchem es bei unsern Versuchsobjecten zweifellos

sichtbare Oxydationserfolge erzielt hätte. Jedenfalls ist also Ozon in hohem Grade giftig, gleichviel ob es diese schädlichen Erfolge nur durch oxydirende Eingriffe oder in noch anderer Weise erzielt.

Nach solchen Erfahrungen hatte ich keine Veranlassung, meine Versuche nach dieser Richtung auszudehnen und ich will die Möglichkeit zugeben, dass es je nach den Pflanzen und der Versuchsanstellung, z. B. bei Anwendung von Ozonwasser, doch gelingen mag, Oxydationswirkungen im Zellsaft durch Ozon zu erzielen, oder solche im Protoplasma, etwa durch Entfärbung von Cyanin, bemerklich zu machen. Doch würde damit in keiner Weise den Schlussfolgerungen Abbruch gethan, welche auf Grund der Erfahrungen mit Wasserstoffsuperoxyd bezüglich der Existenz und der Wirkung von activirtem Sauerstoff in der Zelle zu ziehen sind. Denn wenn nach dem Ausbleiben oxydirender Wirkungen schon Wasserstoffsuperoxyd in der Zelle mangelt, so ist natürlich auch das so viel energischer wirkende Ozon und ebenso der dem Ozon noch überlegene nascirende Sauerstoff ausgeschlossen (vgl. p. 375). In solcher Erwägung habe ich auch nicht nach Versuchen gestrebt, in denen in der Zelle nascirender Sauerstoff zur Wirkung kommt. Unmöglich wenigstens erscheint es nicht, durch Einführung bestimmter Körper in die Zelle zu erreichen, dass nachweislich der nur im Entstehungszustand denkbare atomistische Sauerstoff, im lebenden Organismus seinen Ursprung nimmt.

Die sehr giftigen Wirkungen des Ozons auf den thierischen Organismus sind schon länger durch Dewar und Mac Kendrik, sowie durch Redfern u. A.[1]) bekannt. Auch hat Liebreich[2]) auf die giftige Wirkung des Ozons hingewiesen. Woran es lag, dass nach Dumas[3]) die Gährung und nach Vogel[4]) die Keimung durch Ozon nicht schädlich beeinflusst wurde, vermag ich nach den mir vorliegenden kurzen Bemerkungen nicht zu beurtheilen.

---

1) Vgl. Graham-Otto, Lehrbuch d. Chemie 1878, V. Aufl., Bd. II, 1, p. 72.

2) Chem. Centralblatt 1880, p. 589. Vgl. auch Harnack, Lehrbuch der Arzneimittellehre u. Flügge, Mikroorganismen 1886, p. 531.

3) Annal. d. chimie et d. physique 1875, V. sér., Bd. 3, p. 92.

4) Botan. Jahresb. 1886, p. 133. Das Original ist mir unbekannt.

VII. Beweise für das Fehlen von activirtem Sauerstoff in der lebendigen Zelle.

Nach Mittheilung der Versuchsresultate soll nun, und zwar zunächst ohne ein näheres Eingehen auf den Athmungsprocess, dargelegt werden, in wie weit aus den gewonnenen Erfahrungen Schlüsse hinsichtlich der Existenz oder Nichtexistenz von activirtem Sauerstoff in der lebensthätigen Zelle zu ziehen sind. Mit Rücksicht auf diese Frage wurden ja, wie einleitend bemerkt ist, die Studien über die Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds in lebenden Zellen unternommen.

Das Ausbleiben derjenigen Färbungen und Entfärbungen im Zellsaft und Protoplasma, durch welche eingeführtes Wasserstoffsuperoxyd sogleich bemerklich wird, beweist nicht nur, dass kein Wasserstoffsuperoxyd in der lebensthätigen Zelle entsteht, sondern dass überhaupt in dieser in keiner Weise gleich starke oder noch stärkere Oxydationswirkungen gegen unsere Indicatoren zu Stande kommen. Denn diese würden ja jedwelche genügend energische Oxydationswirkung anzeigen, gleichviel ob diese durch Wasserstoffsuperoxyd, Ozon, nascirenden Sauerstoff, durch irgend eine Sauerstoffverbindung oder einen Sauerstoffübertrager oder sonst in irgend welcher Weise ausgeübt würde. Auf den Mangel von passivem Sauerstoff aber fallen die negativen Resultate nicht, denn passiver Sauerstoff ist im Protoplasma und Zellsaft vorhanden, wie weiterhin noch zu zeigen sein wird.

Da die natürlich vorkommenden Indicatoren im Zellsaft gelöst sind und das eingeführte Cyanin das ganze Protoplasma durchtränkt, so würde auch eine localisirte entsprechende Oxydirung angezeigt werden, und es ist also auch bewiesen, dass eine solche z. B. weder an einzelnen Partien des Protoplasmas, noch an der Grenze von Protoplasma und Zellsaft stattfindet. Auch fehlt der Regel nach solche Oxydation an der Aussenfläche des Protoplasmas, wie schon aus den mitgetheilten und aus noch weiterhin zu besprechenden Versuchen zu entnehmen ist. Dieses allseitigen Vorhandenseins und eventuellen Nachdringens an die Verbrauchsorte halber, würden unsere Indicatoren ebenso existenzfähige als nur je momentan bestehende Oxydationsbedingungen anzeigen, also z. B. auch den nur im Entstehungszustand in Betracht kommenden atomistischen Sauerstoff.

Thatsächlich ist, wie früher (p. 389) dargethan, das durch viele Ursachen leicht zerfallende Wasserstoffsuperoxyd im Protoplasma relativ beständig und könnte dieserhalb in demselben in kleinen Mengen recht wohl entstehen und bestehen. Aus dieser relativen Beständigkeit im Protoplasma ist aber nicht nur zu ersehen, dass irgend auffällig zersetzende Ursachen mangeln, sondern auch dass Körper, überhaupt Verhältnisse fehlen, durch welche das Wasserstoffsuperoxyd zu einem sehr energischen Oxydationsmittel wird (vgl. p. 376). Denn wenn das Wasserstoffsuperoxyd etwa zu kräftiger Wirkung gesteigert würde, wie sie dem Ozon zukommt, so könnte es im Protoplasma sich nicht erhalten und würde, ebenso wie Ozon, schon in sehr geringen Mengen tödtlich sein.

Deshalb bedarf es aber doch, wie schon (p. 409) hervorgehoben wurde, und auch noch zu behandeln ist, gewisser Vermittelungen, um dem Wasserstoffsuperoxyd die beobachteten Oxydationen oder wenigstens viele dieser, zu ermöglichen. Wie dem auch sei, jedenfalls sind diese Indicatoren ein Zeugniss für den Mangel einer jedwelchen Oxydation, wie sie das immerhin verhältnissmässig schwach wirkende Wasserstoffsuperoxyd zu erzielen vermag, wie sie aber nicht durch den auch in der Zelle vorhandenen passiven Sauerstoff hervorgerufen werden. Als Ausdruck dieser Differenz soll auch in Folgendem allgemein vom Fehlen eines activirten Sauerstoffs geredet werden, wenn auch die empirischen Erfahrungen allgemein ein Beweis für das Fehlen jedwelcher entsprechenden Oxydation in der Zelle sind, gleichviel ob solche von einem einfachen Process oder einer Kette von Vorgängen abhängig ist.

Das stetige Fehlen von activirtem Sauerstoff im Zellsaft wird auf das Schärfste durch den Mangel von Färbung, resp. Entfärbung in den Versuchspflanzen bewiesen, deren Zellsaft bei Zufuhr sehr geringer Mengen von Wasserstoffdioxyd sogleich entsprechend reagirt. Denn diese Reactionen bleiben, einmal ausgeführt, wie früher (p. 392) gezeigt wurde, unverändert in der lebensthätigen Zelle erhalten und selbst eine möglichst geringe Oxydationsfärbung hatte während 20 Tagen in den Zellen des Stengels von Faba gleiches Colorit bewahrt. Da ferner dargethan wurde, dass die geringsten in den Zellsaft gelangenden Quantitäten von Wasserstoffsuperoxyd zu Oxydationszwecken verwandt werden, so müsste mit der Zeit eine deutliche Reaction

auch dann entstehen, wenn dauernd oder zeitweilig äusserst geringe Mengen von activirtem Sauerstoff im Zellsaft selbst entstünden oder von Aussen in diesen gelangten. Eine solche Oxydationsreaction aber unterbleibt thatsächlich während der ganzen Lebenszeit in den Zellen unserer Indicatorpflanzen.

Dieses Verhalten des Zellsaftes lehrt natürlich auch, dass vom Protoplasma aus kein Wasserstoffsuperoxyd oder irgend eine entsprechend wirkende Sauerstoffform oder Sauerstoffverbindung in den Zellsaft gelangt. Indess könnte deshalb immer noch im Protoplasma activirter Sauerstoff entstehen, welcher seiner momentanen Existenz oder des Consums im Plasma oder anderer Ursachen halber, nicht in den Zellsaft gelangt. Dass dem nicht so ist, beweisen aber die gerade dieserhalb wichtigen Versuche mit Cyanin, welche zeigen, dass dieser durch Wasserstoffsuperoxyd so leicht im Protoplasma entfärbbare Körper in der lebensthätigen Zelle keinen Oxydationen unterliegt, ein Beweis, dass selbst sehr leicht durch activirten Sauerstoff oxydable Körper im lebensthätigen Protoplasma bestehen können.

Allerdings verweilt das eingeführte Cyanin, ebenso wie andere gespeicherte Farbstoffe, nicht unbegrenzt in dem Protoplasma, weil es langsam exosmirt, und es wären deshalb natürlich vorkommende Indicatoren, wie solche sich im Zellsaft finden, erwünscht, doch haben die bisherigen Erfahrungen keinen solchen kennen gelehrt. Indess genügen auch die Ergebnisse mit Cyanin ganz vollständig, um die Wirkung von activirtem Sauerstoff, und speciell mit Rücksicht auf den Athmungsprocess, auszuschliessen. Denn die so ungeheuer geringen Mengen des Cyanins in einem matt gefärbten Protoplasma erhalten sich doch immerhin 24 Stunden lang und wohl noch länger in wahrnehmbarer Weise, während im Athmungsprocess verhältnissmässig sehr grosse Stoffmengen oxydirt werden. Wie noch späterhin (Cap. 10) berührt wird, können energisch thätige Zellen in 24 Stunden 1 bis 7% ihres Körpergewichts an Kohlensäure produciren, und da diese im Protoplasma entsteht, so fällt in Bezug auf das Gewicht dieses die Kohlensäureproduction noch viel ansehnlicher aus.

Wie die übrigen Versuche mit Cyanin sind im Cap. 4 auch die Belege mitgetheilt, welche beweisen, dass die Oxydation von Cyanin dieses dauernd verschwinden machen müsste, weil das lebensthätige Protoplasma nicht befähigt ist, das farblose Oxydationsproduct zu

reduciren. Es mag auch noch darauf hingewiesen sein, dass die Entfärbung von Cyanin und ebenso der rothen und blauen Farbstoffe im Zellsaft von jedwelcher Oxydation Kunde geben würden, und das Verbleiben des farbigen Oxydationsproductes im Zellsaft von Faba, Trianea u. s. w. spricht, wie auch andere mitgetheilte Erwägungen, gegen einen activirten Sauerstoff, dessen Wirkungen nicht in Färbungen bemerklich werden, weil er das Chromogen zu farblosen Producten verbrennt.

Der Mangel von activirtem Sauerstoff im Protoplasma schliesst auch Secretion eines zur Diosmose befähigten activirten Sauerstoffs (resp. einer Sauerstoffverbindung) aus. Ferner kann solcher activirter Sauerstoff nicht an der Aussenfläche des Protoplasmas oder überhaupt ausserhalb der Zelle in einiger Menge entstehen, da er mit dem Eindringen in die Zellen dieselben Oxydationen hervorrufen würde, wie sie kleine Mengen von Wasserstoffsuperoxyd erzielen.

Ausserdem sprechen anderweitige Versuche mit Penicillium glaucum dafür, dass die für andere Pflanzen gefundenen Resultate auch für diesen Schimmelpilz gelten. Da indess für Beurtheilung der Experimente die Activirung des Sauerstoffs durch ausgetretene Pflanzensäfte und Secrete in Erwägung zu ziehen ist, so finden jene besser erst weiterhin Besprechung (Cap. 10). Erwähnt mag nur sein, dass als Reagentien mit etwas Eisenlactat versetzte Lösungen von Indigo, Methylenblau und Cyanin dienten, welche durch Wasserstoffsuperoxyd sofort, durch die lebenden Zellen des Pilzes anscheinend aber nicht entfärbt wurden. Mit Rücksicht darauf, dass Indigo nicht, wohl aber das in dem Protoplasma oxydable Cyanin in die Zelle eindringt, folgt, dass Penicillium weder innerhalb noch ausserhalb der lebenden Zelle activirten Sauerstoff producirt.

Einige ähnliche Versuche mit beleuchteten Algen und ebenso das Nichtfärben oxydabler Chromogene und Farbstoffe des Zellsaftes in den chlorophyllführenden und den diese umgebenden Zellen beweisen, dass auch der in der Kohlensäurezersetzung am Licht erzeugte Sauerstoff beim Austritt aus dem Protoplasma nicht activirt ist. Auch diese Frage soll erst späterhin besprochen werden.

Eine Wirkung durch activirten Sauerstoff vermochten wir also in keinem Falle innerhalb einer lebenden Zelle zu erkennen, und da

verschiedene Pflanzen und Pflanzentheile ein gleiches Ergebniss lieferten, dürfen wir wohl das Fehlen von activirtem Sauerstoff in lebenden Zellen als Regel ansehen. Es scheint dieses auch für Schimmelpilze unter normalen Culturverhältnissen zu gelten, dagegen ist es unentschieden, ob nicht Gährungsorganismen Ausnahmen bieten. Bei der besonderen Lebens- und Wirkungsweise dieser ist es wohl möglich, dass sie auch Oxydationen durch Activirung von Sauerstoff erzielen. Diese Frage, die späterhin noch einmal gestreift wird, lasse ich unentschieden und hebe nur hervor, dass alle unsere Schlussfolgerungen zunächst nicht auf Gährungsorganismen übertragen werden dürfen.

Das Fehlen von activirtem Sauerstoff kann natürlich nur als allgemeine Regel ausgesprochen werden, von welcher sich bei bestimmten Pflanzen oder unter besonderen Versuchsbedingungen wohl einmal Ausnahmen finden mögen. Bis dahin sind mir freilich solche nicht aufgestossen. Es gehört aber nicht mehr zu den Eigenschaften des lebendigen Zellinnern, wenn, wie es scheint (Cap. 10), gewisse nach aussen secernirte Stoffe unter Umständen durch Activirung von Sauerstoff auf die Umgebung wirken können. Der Mangel der Färbung, resp. Entfärbung in allen lebenden Zellen von Faba, Trianea, Tradescantia und anderen Indicatorpflanzen, während der ganzen Lebenszeit lehrt unmittelbar, dass innerhalb dieser und trotz mannigfach wechselnder äusserer Bedingungen im Zellsaft keine Wirkung von activirtem Sauerstoff sich einstellt. Nach diesen Erfahrungen konnte man wohl erwarten, wie es auch der Versuch für Stengel und Wurzel von Faba ergab, dass eintägiger Aufenthalt bei 1—3° C. oder 40—42° C., Verweilen in 1% Sauerstoff enthaltender Luft oder in reinem Sauerstoff, Einwirkung von Chloroformdampf und Hungerzustand bis zu beginnendem Absterben keine Färbung im Zellsaft erzielte, so lange die Zellen noch lebend waren. Ebenso färben sich nicht, trotz veränderter Thätigkeit, die einer Verwundung nächstbenachbarten Zellen.

Zu gleichem Resultat führten einige Versuche mit den Wurzelhaaren von Trianea bogotensis, in welchen der Mangel von activirtem Sauerstoff durch die bleibende Cyaninfärbung im Protoplasma constatirt wurde. In diesen Versuchen wurden gleiche Resultate wie unter normalen Verhältnissen erhalten mit Pflanzen, welche durch

Aufenthalt im Dunkeln bis zu beginnendem Absterben einzelner Wurzeln gebracht worden waren, bei 5 stündigem Aufenthalt in 2° und 40° C., bei ebenso langem Verweilen in sauerstoffarmer Luft und in reinem Sauerstoff, und ebenso bei 5 stündiger Einwirkung von Wasser, das etwas Chloroform enthielt und die Strömung des Protoplasmas sistirte. Ich begnüge mich mit diesen Angaben, da eine nähere Beschreibung der Versuche nicht geboten scheint.

Unsere Versuchsobjecte würden auch eine jede nur localisirte Entstehung von activirtem Sauerstoff durch eine entsprechende Reaction anzeigen und deshalb gelten die bisherigen und ebenso die noch folgenden Erörterungen und Schlüsse ebenso für den Fall, dass der activirte Sauerstoff nur an bestimmten Stellen seine Entstehung oder seinen Eintritt findet. Dieses hätte für die Reaction im Zellsaft, in welchem sich die gelösten Körper wie in jeder Lösung mischen, keine Bedeutung, dagegen ist das Protoplasma ein gegliederter Organismus, dessen Organe und Theile thatsächlich das Cyanin ungleich speichern und recht wohl auch, wie wohl in vielen Functionen, bei der Production von activirtem Sauerstoff ungleich betheiligt sein könnten.

Doch bei solcher functionellen Arbeitstheilung würde dennoch die Entfärbung des Cyanins den in einzelnen Theilen entstehenden activirten Sauerstoff anzeigen. Denn sind auch thatsächlich die Mikrosomen und nächstdem gewisse andere differenzirte Plasmamassen die wesentlich blau gefärbten Organe (vgl. p. 416), so fehlt doch Cyanin in der übrigen, relativ farblos erscheinenden Masse des Protoplasmas nicht ganz. Würde aber u. a. in letzterer allein activirter Sauerstoff entstehen, der z. B. als nascirender Sauerstoff auch nur an dieser Stelle oxydirend wirken könnte, so hätte die Oxydation der thatsächlich vorhandenen kleinen Cyaninmenge, also deren Entfernung, nach den für die Stoffvertheilung allgemein gültigen Gesetzen, eine Nachbewegung des Farbstoffs und so endlich eine gänzliche Entfärbung des Protoplasmas zur Folge.

Die verhältnismässig schnelle Wanderung des Cyanins von gefärbten zu ungefärbten Mikrosomen, bei welchen ja die Zwischenmasse den Austausch zu vermitteln hat, lässt sich direct demonstriren, und damit ist auch die Richtigkeit obiger Discussion erwiesen. Taucht man nämlich mit Cyanin gefärbte Wurzelhaare, in welchen durch

kurze Wirkung von Chloroformwasser die Protoplasmaströmung zum Stillstand gebracht war, ganz vorübergehend mit ihren Spitzen in 0,01 proc. Wasserstoffdioxyd und spült dann sofort das Reagens ab, so gelingt es zuweilen sehr gut, die blaue Farbe allein in dem freien Theile des Haares zu entfernen, während in der Basis desselben schön blaues Protoplasma verbleibt (vgl. p. 417). Kehrt nun die Strömung bei Aufenthalt in Wasser bald zurück, so ist auch schnell wieder das Protoplasma gleichmässig, aber natürlich schwächer als zuvor, gefärbt, d. h. Cyanin ist von den ungefärbten zu den gefärbten Mikrosomen durch die Zwischenmasse gewandert. Ich fand solche gleichmässige Färbung schon 1 bis 2 Minuten nach Beginn der Strömung erreicht, welche natürlich beschleunigend mitwirkt. Da die Strömung auch während des Lebens thätig ist, so hatte ich keinen Grund, die Ausgleichung bei gehinderter Protoplasmabewegung zu studiren, doch sah ich nebenbei, dass auch unter solchen Bedingungen die Färbung sich anscheinend ziemlich schnell ausgleicht.

Aus gleichen Gründen müsste es aber auch zu einer Totalentfärbung des Protoplasmas führen, wenn etwa nur im Zellkern Cyanin oxydirt würde. Denn erscheint dieser auch in dem blauen Plasma ungefärbt[1]), so geht ihm doch um so gewisser nicht alle Speicherung von Cyanin ab, als ich nachträglich für die Zellkerne in den Staubfadenhaaren von Tradescantia zebrina und in den Parenchymzellen der Wurzelblätter von Sagittaria sagittaefolia eine schwache Färbung durch Cyanin in lebenden Zellen fand[2]).

Jedenfalls kommt also in der lebensthätigen Zelle normalerweise kein activirter Sauerstoff zur Entstehung, welcher auf unsere leicht oxydirbaren Indicatoren im Protoplasma und im Zellsaft einzuwirken vermag. Doch ist in Erwägung zu ziehen, ob nicht diese Indicatoren intact bleiben, weil noch leichter oxydable Stoffe, welche fortwährend in der Zelle vorhanden sind und nachgebildet werden, dauernd die Gesammtmenge des activirten Sauerstoffs beschlagnahmen. An eine eigentliche Anhäufung von activirtem Sauerstoff kann man natürlich in keinem Falle denken. Höchstens könnten kleine Mengen von Wasserstoffsuperoxyd im Protoplasma bestehen, doch ist das

---

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 259.

2) Ueber Kernfärbungen in lebenden Zellen vgl. Campbell, ebenda p. 569.

Vorhandensein von Wasserstoffsuperoxyd oder irgend einer in ähnlicher Weise wirkenden Sauerstoffverbindung durch die Thatsachen widerlegt. Dieses gilt ebenso für Ozon, welches auch seiner nachgewiesenen schädlichen Eigenschaften halber nur bei einer sofortigen Beschlagnahme am Entstehungsorte in der Zelle eine Rolle als oxydirendes Agens spielen könnte. Der atomistische Sauerstoff aber kann überhaupt nur im Augenblick seiner Bildung in Betracht kommen, da sich sonst sogleich die Atome zum Molekül des passiven Sauerstoffs vereinigen.

Ein derartiges Intactbleiben der Indicatoren ist nach den allgemeinen Grundsätzen der Chemie wohl verständlich, denn wenn verschiedene Reactionen gleichzeitig möglich sind, tritt in vielen Fällen nur eine, nach Maassgabe der grössten Affinität, ein. Als ein für unseren Fall passendes Beispiel sei an die verschiedenen Titrirungen erinnert, in welchen erst nach vollendeter Umsetzung der Indicator in Reaction tritt. Speciell für Wasserstoffsuperoxyd ist schon seit Schönbein bekannt, dass z. B. bei Gegenwart von Schwefelwasserstoff erst dieser zersetzt sein muss, ehe die Oxydation einer sauern Indigolösung beginnt, und mit Ozon oder atomistischem Sauerstoff würde ein gleiches Resultat erhalten werden. Ausserdem ist auch die katalytische Zersetzung von Wasserstoffsuperoxyd als ein Mittel zu beachten, welches einen Körper vor Oxydation schützen kann. Solches soll nach Bergengruen[1]) z. B. für das Blut zutreffen, indem die Katalyse des Wasserstoffsuperoxyds durch das Stroma des Blutes die Oxydation des Hämoglobins verhindert, welches für sich durch Wasserstoffsuperoxyd leicht oxydabel ist. Uebrigens kommt nach den mitgetheilten Erfahrungen solche katalytische Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds für die Reactionen im lebensthätigen Protoplasma nicht in Betracht.

In physiologischer Hinsicht wäre eine solche Deckung nur ein specieller Fall des electiven Stoffwechsels, in welchem ja der Consum eines Stoffes verhindert, dass andere Stoffe im Organismus nicht in den Umsatz gezogen werden. Solche Wechselbeziehungen sind zweifellos im Organismus, worauf ich schon einigemal hinwies und

---

1) Ueber die Wechselwirkung zwischen Wasserstoffsuperoxyd und verschiedenen Protoplasmaformen 1888, p. 46. Vgl. auch p. 389 Anmerkung.

einmal ausführlicher darzuthun gedenke, von der mannigfachsten und weittragendsten Bedeutung, so z. B. für Erzielung eines ökonomischen Nährstoffconsums und für viele Vorgänge der Selbstregulation. Von den bis dahin veröffentlichten hierher gehörenden Thatsachen erinnere ich an die bekannte Beobachtung Pasteur's, dass Schimmelpilze, bei Darbietung von Traubensäure als organischer Nahrung, zunächst die rechts drehende Weinsäure consumiren, und ferner nach Nägeli, wenn Zucker zugegen ist, nur eine geringere Menge von Proteïnstoffen verbrauchen, aus welchen sie andernfalls ihren ganzen Nährstoffbedarf zu decken vermögen[1]). Auch zählen hierher einige Beispiele von elektiver Gährthätigkeit.

Eine solche Deckung unserer Indicatoren könnte natürlich im Näheren in verschiedener Weise erreicht werden. Der Hauptsache nach würde es sich aber um eine fortwährend in der Zelle unterhaltene gewisse Anhäufung des Materiales handeln, welches den activirten Sauerstoff mit seiner Entstehung beschlagnahmt, oder activirter Sauerstoff und Oxydationsmaterial müssen stets in solchem Verhältniss gleichzeitig und an demselben Ort entstehen, dass niemals ein Ueberschuss von activirtem Sauerstoff sich einstellt, denn das würde Oxydation des Cyanins im Protoplasma zur Folge haben.

Wir sehen hier zunächst von der zuletzt angeführten Möglichkeit ab, um zu zeigen, dass deckende Stoffe sich nicht in der lebensthätigen Zelle anhäufen. Da diese Fragen wesentlich für die Oxydation in der Athmung Bedeutung haben, diese aber zweifellos im Protoplasma sich abspielt, so soll zunächst nur auf letzteres Rücksicht genommen werden.

Erinnert sei daran, dass die Strömung im Protoplasmakörper zugleich eine zureichende Athmungsthätigkeit kennzeichnet, denn mit Entziehung, oder auch nur sehr weitgehender Verminderung des Sauerstoffs, steht diese Strömung stille, um bei erneuter Zufuhr in der lebendigen Zelle zurückzukehren[2]). Da aber die Strömung nur die Realität der Athmungsthätigkeit kennzeichnet, so ist damit z. B. nicht ausgeschlossen, dass bei Zufuhr von Wasserstoffdioxyd dieses an Stelle des passiven Sauerstoffs in den bezüglichen Oxydationsvor-

1) Vgl. Pfeffer, Physiologie I, p. 233, 271, 300. Vgl. auch ebenda p. 9.
2) Vgl. Clark, Bericht. d. bot. Gesellsch. 1888, p. 273.

gang eingreift. Auch ist aus anscheinend unveränderter Strömungsschnelligkeit nicht zu entnehmen, ob die Oxydationsvorgänge unverändert blieben oder ob diese vielleicht bei Zufuhr von Wasserstoffsuperoxyd irgendwie gesteigert wurden. Abgesehen von der Reaction der Indicatoren fehlen hierüber bestimmte Erfahrungen, und unbekannt ist auch, ob die Kohlensäureproduction durch Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd etwas gesteigert werden kann.

Wären solche deckende Stoffe vorhanden, so müssten diese leichter oxydabel sein, als Cyanin, dürften aber nicht durch den passiven Sauerstoff verbrannt werden. Denn nur unter letzterer Voraussetzung wäre ihr Bestehen im Protoplasma möglich, in welchem nachweislich freier Sauerstoff vorhanden ist, und wenn sie nicht schwieriger oxydabel wären als Cyanin, würde eben dieses, das in alle Partien des Protoplasmas dringt, den activirten Sauerstoff beschlagnahmen. Demgemäss müsste solches Deckungsmaterial durch Eindringen von überschüssigem Wasserstoffsuperoxyd im Protoplasma beseitigt werden. Nach solcher Einwirkung verhält sich aber das sogleich mit Cyanin behandelte Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea ebenso gefärbt, wie vor solcher Behandlung (vgl. p. 418). Es kann also eine nennenswerthe Ansammlung solcher leichter oxydabler Stoffe im Protoplasma nicht vorhanden gewesen sein und die Wirkung von oxydirenden Ursachen auf Cyanin verhindert haben.

Zu gleichem Schlusse führt auch die Erfahrung, dass in den Wurzelhaaren von Trianea die Protoplasmaströmung unverändert fortdauert, wenn das Wasserstoffsuperoxyd nach der Einwirkung schnell ausgewaschen wird. Denn wäre die Ansammlung solcher leichter oxydabler Körper für den Unterhalt der Oxydationsvorgänge in der Athmung nothwendig, so müsste man zunächst nach Beseitigung jener eine gewisse Störung in der Athmung erwarten, die sich wenigstens in der Protoplasmaströmung nicht ausspricht. Auch sind das schnelle Vordringen von verdünntem Wasserstoffsuperoxyd bis zum Zellsaft von Trianea u. a., sowie die schnelle Oxydation des im Protoplasma gespeicherten Cyanins wenigstens Argumente, dass nennenswerther Aufenthalt durch anderweitige Oxydationswirkungen im Protoplasma nicht stattfindet. Ferner kann angeführt werden, dass bei thunlichst weit getriebenem Hungerzustand dennoch Cyanin in dem Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea sich unverändert erhält.

Nach den mitgetheilten Argumenten kann die Beständigkeit des Cyanins im Protoplasma nicht durch Anhäufung leichter oxydabler Stoffe bedingt sein. Wenn demgemäss bei den Verbrennungsprocessen in der Zelle dem activirten Sauerstoff überhaupt eine Rolle zufallen sollte, so müsste dieser gleichzeitig mit dem zu oxydirenden Material und zwar, bei allen Schwankungen der Athmungsintensität, in einem proportionalen Verhältniss erzeugt werden, und nie dürfte ein Ueberschuss von activirtem Sauerstoff entstehen, denn das würde eine Entfärbung des Cyanins im Protoplasma bewirken. Aus schon angeführten Gründen dürften ferner diese beiden Processe nicht räumlich getrennt verlaufen, und ebenso müsste wiederum das entstehende Verbrennungsmaterial leichter oxydabel sein, als Cyanin.

Unter solchen Voraussetzungen wäre der activirte Sauerstoff mit keinem Reagens zu erkennen, es sei denn, dass dieses noch leichter oxydabel ist, als das entstehende Verbrennungsmaterial, oder dass es gelingt, die Production dieses letzteren einseitig zu hemmen oder zu unterdrücken. Natürlich hätte man aber bei Gleichzeitigkeit zweier derartiger Processe, von welchen der eine selbständig auf Erzeugung von activirtem Sauerstoff hinarbeitet, diesen letzteren als einen im physiologischen Verbrennungsprocess mitwirkenden oder entscheidenden Factor anzusprechen. Anders aber, wenn der passive Sauerstoff direct eingreift oder wenn dieser zunächst in Verbindung mit einem Körper tritt, der nun mit einem anderen Stoffe in wechselseitige Umsetzungen tritt, in denen durch Ortsveränderungen der Sauerstoffatome auch hoch oxydirte Producte, wie Kohlensäure, entspringen. In einem solchen Processe kann natürlich ebenso wenig von einer Activirung des Sauerstoffs die Rede sein, wie in beliebigen chemischen Umlagerungen, die zu anderen Sättigungen von Sauerstoffaffinitäten führen. Doch kann in solchen Processen ein Körper dauernd als Sauerstoffüberträger wirksam sein, dann nämlich, wenn er bei den Umsetzungen stetig wieder zu seiner früheren Form regenerirt wird und damit immer von neuem die Eigenschaft gewinnt, den neutralen Sauerstoff an sich zu reissen. In derartigen, hier nur dem allgemeinsten Princip nach angedeuteten Umsetzungen sind die wechselseitigen Affinitäten der aufeinander wirkenden Körper und ist nicht schlechthin die Oxydirbarkeit des einen Stoffes wesentlich entscheidend. Ja es ist wohl möglich, dass gegenüber einem solchen Sauerstoffüber-

träger der leichter oxydable Körper intact bleibt, während bei Einwirkung von activirtem Sauerstoff die Stoffe im allgemeinen nach Maassgabe ihrer Oxydirbarkeit der Verbrennung anheimfallen.

Entstehen aber activirter Sauerstoff und Verbrennungsmaterial in der oben gekennzeichneten Weise dauernd in einem proportionalen Verhältniss, so muss es in der lebenden Zelle ganz besondere Schwierigkeiten bieten, die Realität oder das Nichtwirken von activirtem Sauerstoff streng zu erweisen. Namentlich werden alle bezüglich des letzteren negativen Resultate gar leicht den Einwand gestatten, dass es nicht gelang, die gleichzeitig verlaufenden und zusammenwirkenden Vorgänge genügend zu trennen, um dem activirten Sauerstoff anderweitige Wirkungen zu gestatten. Doch wäre es auch gegen eine gesunde Empirie, in solcher Lage durch Winkelzüge dem activirten Sauerstoff ein Mitspielen zu retten, wenn die Argumente durchgehends gegen diesen sprechen und er für die Causalität des Athmungsprocesses ganz entbehrlich ist. Für Liebhaber teleologischer Erwägungen liesse sich auch anführen, dass, wenn denn doch einmal die Zelle leicht oxydable Körper schaffen muss, es schliesslich einfacher wäre, sogleich solche zu produciren, welche für sich den neutralen Sauerstoff spalten, als in der Activirung von Sauerstoff noch einen zweiten Process hereinzuziehen.

Gegen activirten Sauerstoff in dem bezeichneten Sinne spricht es jedenfalls, dass unter sehr verschiedenen Bedingungen und trotz sehr veränderter Athmungsenergie nie eine Wirkung des activirten Sauerstoffs auf Reagentien zu Stande kam. Um zu sehen, ob eine solche Wirkung erreichbar wäre, wurden gerade die schon (p. 434) mitgetheilten Versuche mit Faba und namentlich mit Trianea angestellt und das Resultat war, dass weder im Hungerzustand, noch beim Verweilen in 2° C. oder 40° C., noch in reinem Sauerstoff oder sauerstoffarmer Luft, noch beim Chloroformiren jemals eine Oxydationswirkung auf Cyanin im Protoplasma der Wurzelhaare von Trianea bemerklich wurde. Wenn ja auch vollständig harmonisch zusammengreifendes Steigen und Fallen denkbar ist, so sollte man doch eher meinen, dass einmal der eine Process relativ schneller anwüchse, und das um so mehr, als z. B. die Athmungsthätigkeit mit der Temperatur dauernd steigt, während viele andere Processe bekanntlich von einem Optimum ab mit zunehmender Temperatur retardirt werden. Durch Versuche mit partieller

oder totaler Sauerstoffentziehung, die ja unter Umständen eine Anhäufung des oxydablen Materials herbeiführen könnten, darf man aus verschiedenen Gründen, so schon der eintretenden intramolekularen Athmung halber, keine bestimmte Entscheidung erwarten.

Auch aus den Einwirkungen von Wasserstoffsuperoxyd vermag ich, wenigstens auf Grund meiner Erfahrungen, keine bestimmten Schlussfolgerungen abzuleiten, obgleich dieser Körper, wie die schnelle Entfärbung des Cyanins lehrt, seinen Weg in alle Theile des Protoplasmas findet, und wohl sicher activirten Sauerstoff, sofern solcher entsteht, für sich in Beschlag nehmen wird. Denn das labile Sauerstoffatom des Wasserstoffdioxyds vermag sogar nicht zu fest geketteten Sauerstoff aus Verbindungen zu entreissen und würde wohl sicherlich mit jedem activirten Sauerstoff zum Sauerstoffmoleküle zusammenschliessen[1]) und so in unserem Falle die Wirkung des supponirten activirten Sauerstoffs eliminiren. Da aber dann das überschüssige Wasserstoffsuperoxyd das gleichzeitig im Protoplasma entstehende supponirte leichter oxydable Material verbrennen würde, so bliebe die Athmung dennoch bestehen und es könnte sogar aus der bei dem Umsatz von activirtem Sauerstoff und Wasserstoffsuperoxyd entspringenden Wärmetönung unter Umständen selbst ein gewisser Gewinn von Betriebskraft entspringen.

Es ist hier nicht nöthig, in ähnlicher Weise den Zellsaft zu behandeln, in welchem als einem für sich todten Organe des lebendigen Protoplasmaleibes, die Athmungsoxydationen nicht zu suchen sind. Uebrigens lassen sich die obigen Argumentationen theilweise auch auf den Zellsaft anwenden. Dass nicht im Zellsaft leichter oxydable Stoffe sind, welche in unseren Indicatorpflanzen trotz des dauernden Entstehens von activirtem Sauerstoff die entsprechenden Reactionen verhindern könnten, ist aus der Schnelligkeit zu entnehmen, mit der sehr geringe Mengen von Wasserstoffsuperoxyd Färbung oder Entfärbung hervorrufen. Auch liessen die auf p. 434 angegebenen

---

1) Nach Baumann (Zeitschrift f. physiol. Chemie 1881, Bd. V, p. 252) dürfte bei Zersetzung von Ozon durch Wasserstoffdioxyd neben Wasser wohl nur molekularer Sauerstoff entstehen, während bei Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd auf nascirenden Sauerstoff daneben Ozon entstehen soll, das aber bei überschüssigem Wasserstoffsuperoxyd in dem obigen Sinne sogleich weiter zerfallen würde.

Versuche, in denen Fabakeimpflanzen unter sehr verschiedenen Bedingungen gehalten wurden, nie eine Spur von Oxydationswirkung im Zellsaft erkennen, und eine solche fand sich auch nicht in älteren Freilandpflanzen, obgleich eine erzielte Oxydationsfärbung fürs ganze Leben conservirt bleibt. Einige hier anschliessende Fragen werden noch zu streifen sein, während wir weiterhin die Ursachen für die Nichtoxydation des Chromogens im Zellsaft der lebenden Zellen zu besprechen haben.

Auf Grund der empirischen Erfahrungen kommt also in der lebensthätigen Zelle activirter Sauerstoff nicht zur Entstehung, und wenn dieser, was nach den angestellten Erwägungen mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit negirt werden muss, dennoch in dem ausgedehnten Oxydationsvorgang der Athmung eine Rolle mitspielen sollte, so könnte dieses, wie gezeigt wurde, nur in der Weise der Fall sein, dass leicht oxydables Material und activirter Sauerstoff unter allen Bedingungen in einem proportionalen Verhältniss entständen und sogleich mit der Entstehung aufeinander wirkten. Die Production von activirtem Sauerstoff in der lebendigen Zelle ist aber bisher überhaupt durch keinen empirischen Beleg erwiesen oder auch nur wahrscheinlich gemacht, und die mitgetheilten Versuche sind die ersten, welche an der Hand einwurfsfreier Experimente die Frage über Vorhandensein oder Fehlen des activirten Sauerstoffs im Innern der lebendigen pflanzlichen Zelle zu entscheiden suchten. Bis auf die Function des lebendigen Protoplasmaleibes selbst gehen die nur aus der Thierphysiologie bekannt gewordenen Versuche in dieser Angelegenheit nicht zurück, und Experimente, in denen die ausserhalb der Zelle befindlichen Körper eine Rolle mitspielen, dürfen schon deshalb nicht für die Functionen in der Zelle herbeigezogen werden, weil thatsächlich auch ausgepresste Pflanzensäfte gewisse Activirung von Sauerstoff, oder wenigstens gewisse Oxydationswirkungen gegen Reagentien erzielen können (vgl. Cap. 10). Schönbein, welcher solche Activirungen erkannte, zeigte übrigens, dass die frischen Pflanzensäfte den activirten Sauerstoff nicht in sich tragen, sondern erst aus dem neutralen Sauerstoff der zutretenden Luft bilden[1]), und die Erfahrungen dieses Forschers können also jedenfalls nicht, wie es dann und wann

1) Schönbein, Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 201, 215.

irrig geschah, als Beweise für Existenz activirten Sauerstoffs in der lebenden Zelle angeführt werden.

Auf die Unveränderlichkeit von Kohlenoxyd[1]) und Stickstoff[2]) im vegetabilischen Organismus ist in unserer Frage kein Schluss zu ziehen, obgleich diese Gase zweifellos in die lebendige Zelle eindringen. Denn die bezeichneten Elemente werden überhaupt nur von atomistischem Sauerstoff, aber schon nicht von Ozon zu Kohlendioxyd, resp. salpetriger Säure[3]) oxydirt, und da diese Oxydation augenscheinlich nur schwierig von statten geht, würde sich atomistischer Sauerstoff, wenn er in der Zelle entstände, in dieser wohl gewiss allein auf die leichter oxydablen organischen Körper werfen.

Schlüsse auf activirten Sauerstoff in der Zelle, die nur auf theoretischen Anschauungen über den Oxydationsprocess in der Athmung basiren[4]), haben natürlich gegenüber Thatsachen keine Bedeutung. Ferner kann auf Grund der Erfahrung, dass in gewissen Oxydationsprocessen, speciell bei Autoxydation, activirter Sauerstoff ins Leben tritt[5]), dessen Entstehung im Athmungsprocess nicht gefordert werden, denn die chemischen Vorgänge in diesem sind einmal nicht zureichend bekannt, und dann ist Allgemeinheit für Entstehung von activirtem Sauerstoff in entsprechenden chemischen Processen überhaupt noch nicht nachgewiesen.

An solche secundäre Bildung von activirtem Sauerstoff schliesst

---

1) Wenigstens die bisherigen Versuche ergeben keine Veränderung des Kohlenoxyds durch die Pflanze. Vgl. die Literatur in meiner Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 198 und Just in Wollny's Forschungen a. d. Gebiete d. Agriculturphysik 1882, Bd. V, p. 60.

2) Wie es die Leguminosen anfangen, um, wie es scheint im Vereine mit Bacterien, den molekularen Stickstoff zu assimiliren, ist noch nicht aufgehellt und man kann nicht behaupten, dass gerade besondere Oxydationswirkungen im Spiele sein müssen.

3) Vgl. Baumann, Ztschr. f. physiol. Chemie 1881, Bd. 5, p. 244, 249.

4) Vgl. Cap. XI u. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 678.

5) Vgl. Traube, Bericht. d. chem. Ges. 1882, Bd. 15, p. 666, 2433; sowie Hoppe-Seyler und Baumann in den in nächster Anmerkung citirten Abhandlungen. Hierher gehört auch die Bildung von activirtem Sauerstoff (Ozon?) bei Oxydation von Aldehyden, ätherischen Oelen u. s. w. (Schönbein, Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 223 ff.). Die noch streitige Frage nach der Qualität des activirten Sauerstoffs können wir hier unberührt lassen.

sich auch die Annahme von Hoppe-Seyler an, nach welcher nascirender Wasserstoff, durch Spaltung des Sauerstoffmoleküls, atomistischen Sauerstoff bildet und dadurch energische Oxydationen erzielt. Wir dürfen die chemische Seite[1]) des Vorgangs ganz ausser Acht lassen, dessen Uebertragung auf physiologisches Gebiet durchaus hypothetisch ist, und am wenigsten kann die Entstehung von Wasserstoff in manchen Gährungsvorgängen und in der intramolekularen Athmung einzelner Pflanzen als ein beweisendes Argument herbeigezogen werden. Das nachweisliche Fehlen von activirtem Sauerstoff in der Zelle entscheidet aber auch gegen diese Theorie. Uebrigens würde, bei Gegenwart von Wasserstoffsuperoxyd im Protoplasma, das freie Wasserstoffatom sicherlich nicht mehr den molekularen Sauerstoff spalten, sondern mit dem labilen Sauerstoffatom des Wasserstoffsuperoxyds sich zu Wassermolekülen vereinen und die Wirkungen des hypothetischen nascirenden Sauerstoffs wären damit eliminirt.

Bei der schon gekennzeichneten Sachlage genügen hier einige historische Bemerkungen über Annahme des Vorkommens oder Nichtvorkommens von activirtem Sauerstoff in der lebendigen Zelle. Die rein theoretischen Speculationen über Athmung, welche activirten Sauerstoff für diesen Process ohne weitere Argumente fordern, auf welche übrigens noch späterhin (Cap. 11) hingewiesen wird, übergehen wir hier, ebenso die physiologisch ganz unbegründete Hypothese Erlenmeyer's[2]), nach welcher Wasserstoffsuperoxyd eine Rolle in der Kohlenstoffassimilation spielen soll.

Aus der activirenden Fähigkeit ausgetretener Säfte darf, wie schon hervorgehoben ist, in keiner Weise direct auf gleiche Thätigkeit in der lebenden Zelle geschlossen werden. Die von Schönbein (l. c.) in dieser Richtung ausgesprochenen Vermuthungen sind verzeihlich, aber irrig, und ebenso die auf gleichem Boden stehenden

---

1) Ueber die chemische Seite vgl. Hoppe-Seyler, Physiol. Chemie 1877, p. 126, 983; Zeitschrift f. physiol. Chemie 1886, Bd. X, p. 35; Traube, Ber. d. chem. Ges. 1882, Bd. 15, p. 2425; 1882, Bd. 16, p. 1201; Baumann, l. c., p. 247. Die nicht übereinstimmenden Ansichten über die Modalitäten der Activirung des Sauerstoffs durch nascirenden Wasserstoff kommen für die physiologischen Fragen zunächst nicht in Betracht. Irgend welche haltbare Argumente für die Realität eines solchen Processes in der lebenden Zelle fehlen aber.

2) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie I, p. 221.

Folgerungen Wurster's, denn auch dieser, welcher mit anderen Reagentien operirte, erhielt immer nur Reactionen der aus getödteten Zellen ausgetretenen Säfte (vgl. Cap. 10). Ebenso basirt Clermont's [1]) Annahme von Wasserstoffsuperoxyd in Pflanzen nur auf Schönbein's Reactionsmethoden in ausgepressten Säften, und da diese nicht immer activirten Sauerstoff anzeigen, so ist nicht zu verwundern, dass Bellucci [2]) auf gleichem Wege sich für Fehlen von Wasserstoffsuperoxyd entscheiden konnte.

Allerdings giebt es in der Literatur auch keine entscheidenden Belege gegen Vorkommen von activirtem Sauerstoff in der Zelle [3]). Denn solcher Mangel ist nicht aus Athmungstheorien zu beweisen, die den activirten Sauerstoff nicht bedürfen. Anderweitige Argumente Liebreich's stützen sich vornehmlich auf die Schädlichkeit und leichte Zersetzbarkeit des Ozons und auch des Wasserstoffsuperoxyds, können aber deshalb höchstens gegen eine Anhäufung dieser Körper, nicht aber gegen eine oxydirende, mit der Production fortdauernde Wirksamkeit im Organismus angeführt werden.

Auch die Versuche Bokorny's [4]) sind ohne Bedeutung. Denn bei Tödtung der Zelle, wie durch Chromsäure, erhält man nur Reactionen todter Zellen, und wenn, wie es scheint, an lebenden Spirogyren, die in verdünnter Jodkalilösung sich befanden, aus dem Ausbleiben einer Blaufärbung der intracellularen Stärkekörner auf Mangel von Wasserstoffsuperoxyd geschlossen wurde, so ist dabei kein Nachweis für Eindringen des Jodkaliums geliefert, das thatsächlich, so weit bekannt, seinen Weg in lebende Zellen nicht findet. Eben dieses gilt für Eisenvitriol, welches Bokorny zu einer Reaction in der gerbsäureführenden Zelle zu verwenden suchte.

Die Entstehung von Ozon ausserhalb der Pflanze, die in Cap. 10 nochmals kurze Erwähnung findet, berührt unsere Frage über Vorkommnisse in der Zelle nicht.

---

1) Compt. rend. 1875, Bd. 80, p. 1592.

2) Bericht. d. chem. Gesellschaft 1876, Bd. 9, p. 83, und 1879, Bd. 12, p. 136.

3) Dumas' (Ann. d. chim. et d. physique 1875, V. sér., Bd. 3, p. 92) kurze Angabe, dass sich bei Alkoholgährung kein Ozon bilde, hat keine Bedeutung.

4) Jahrb. f. wiss. Botanik 1886, Bd. 17, p. 351.

Aus den Versuchen Ehrlich's[1]) mit Indophenolblau und Alizarinblau, resp. deren Leukofarben, sowie mit Methylenblau weiss ich nicht zu entnehmen, ob die beobachteten Reductions- und Oxydationsvorgänge innerhalb des Protoplasmakörpers stattfanden, oder sich in Geweben, etwa in analoger Weise, wie die Reactionen an Schnittflächen von Pflanzentheilen abspielten. Uebrigens haben Wurster und Gad[2]) gezeigt, dass die Deutung der mit den beiden erstgenannten Farbstoffen erhaltenen Resultate nicht einwurfsfrei ist. Aus der Reduction von Methylenblau, welche nach Dreser[3]) die Epithelzellen in der Kaninchenniere erzielen sollen, würde höchstens auf Mangel von activirten Sauerstoff in diesen bestimmten Zellen zu schliessen sein, denn solche Reductionsthätigkeit mangelt, von Gährorganismen abgesehen, allen Pflanzenzellen.

VIII. Vitale und postmortale Oxydation.

Es ist lange bekannt, dass sich mit dem Tode viele Pflanzen, und ebenso deren ausgepresste, zunächst farblose Säfte, unter dem Einfluss des passiven Sauerstoffs mehr oder weniger tief färben, während sich der Zellinhalt im Leben farblos erhielt. Da sich aber thatsächlich passiver Sauerstoff bis in den Zellsaft reichlich findet, so ist nicht etwa der Mangel dieses, sondern die räumliche Trennung vom andern Stoffe die Ursache des Unterbleibens der Oxydationsfärbung im Leben. Mit dem Tode aber mischt sich der Zellsaft, in welchem wohl zumeist die Chromogene zu suchen sind, mit den übrigen Bestandtheilen der Zelle, und damit werden, und wohl nicht immer in derselben Weise, Bedingungen geschaffen, welche nun dem neutralen Sauerstoffmolekül eine Oxydation des Chromogens ermöglichen.

Dass in der That die Anwesenheit von gewissen vermittelnden Stoffen für die Oxydation eines Chromogens nöthig sein kann, hat

---

1) Das Sauerstoffbedürfniss d. Organismen 1885, p. 30, 72 u. s. w.; Deutsche medicinische Wochenschrift 1886, Nr. 4.

2) Vgl. diese Abhandlung p. 426.

3) Zeitschrift f. Biologie 1885, N. F., Bd. 3, p. 48, 54.

schon Schonbein[1]) für den an Schnitt- und Bruchflächen sich bläuenden Boletus luridus gezeigt. Das mit Alkohol ausgezogene Chromogen des Pilzes oxydirt sich nämlich für sich nicht an der Luft, wohl aber wird Oxydation durch Bläuung schnell angezeigt, sobald der für sich farblos bleibende frische Saft anderer Pilze hinzugefügt ist. Ebenso beruht die Fähigkeit vieler Pflanzensäfte Guajactinctur und Jodkalistärkepapier zu bläuen, auf dem Vorhandensein gewisser, die Activirung von Sauerstoff vermittelnder Körper, die, wie auch Schönbein[2]) darthat, durch Kochen unwirksam gemacht werden[3]). Auch hatten wir schon Gelegenheit, bei Behandlung der Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds auf die Bedeutung von gewissen Stoffen für Oxydationsvorgänge innerhalb und ausserhalb der lebenden Zelle hinzuweisen und darzuthun, wie offenbar nur das Fehlen geeigneter Vermittler es mit sich bringt, dass im Zellsaft der lebenden Zellen von Monotropa, und auch vieler Zellen von Faba, eine Oxydation nicht einmal durch Wasserstoffsuperoxyd erreicht wird, obgleich nach dem Tode die thatsächlich vorhandenen Chromogene durch den passiven Sauerstoff der Luft tief gefärbt werden (p. 409). Wenn aber selbst Wasserstoffsuperoxyd, und wohl gar nicht so selten, Chromogene unter den in der lebenden Zelle gebotenen Bedingungen nicht zu oxydiren vermag, so kann es nicht wundern, dass noch öfter der passive Sauerstoff Chromogene in der lebenden Zelle intact lässt.

Nachdem gezeigt wurde, dass Wasserstoffsuperoxyd, ohne Störung der Functionen, durch den Protoplasmakörper bis in den Zellsaft vorzudringen vermag, also in geringer Menge im Protoplasmakörper existenzfähig ist, kann es nicht verwundern, dass auch der neutrale Sauerstoff sich überall in der Zelle finden kann, und thatsächlich ist

---

1) Verhandlungen d. naturf. Gesellschaft in Basel 1857, Bd. I, p. 339. Ausführliches Referat in Botan. Ztg. 1856, p. 819.

2) Zeitschrift f. Biologie 1868, Bd. IV, p. 370.

3) Hierauf beruht es auch, dass nach Aufkochen Lathraea, Monotropa etc. sich nicht so leicht schwärzen und es empfiehlt sich diese Eigenschaft anzuwenden, um farblose Sammlungspräparate zu erhalten. Man bringt zu diesem Zwecke die Pflanzen kurz in kochendes Wasser, dem ein wenig Salzsäure zugesetzt ist, erneuert dann während 1 bis 2 Tagen das schwach säurehaltige Wasser einigemal und bringt die Objecte in 20 bis 30 proc. Weingeist, dem etwa 0,5 % Salzsäure zugesetzt ist. Die Ansäuerung erschwert ebenfalls die Oxydation der meisten Chromogene (vgl. p. 410).

das normale Vorhandensein dieses letzteren in der lebensthätigen Zelle mit aller Schärfe nachzuweisen. Dieses Factum, und auch die besagte Existenzfähigkeit von Wasserstoffsuperoxyd, sind aber von fundamentalster Bedeutung für das richtige Verständniss der Causalität des Athmungsprocesses, auf welche wir erst zuletzt zu sprechen kommen.

Das Vorkommen von freiem Sauerstoff in der ganzen Zelle folgt unwiderruflich aus den früher von mir beigebrachten Argumenten[1]). Am auffälligsten demonstriren dessen Existenz im Zellsaft Räderthierchen, die sich gelegentlich im Zellsaft von Algen vorfinden, und ich hatte Gelegenheit inzwischen wiederum einmal ein Räderthierchen im Zellsaft einer Vaucheria zu finden und stellte von neuem fest, dass im Dunkeln dessen Bewegung während 2 Tagen fortdauerte. Dagegen hörte die Bewegung dieses Räderthierchens bald auf, als in einer Gaskammer die Luft durch Wasserstoff ersetzt wurde, kehrte aber bei sofortiger Neuzufuhr von Luft wieder. In gleichem Sinne beweisen im Innern lebender Zellen erwachsende Pilze das Vorhandensein von verathembarem Sauerstoff und ich erwähne z. B. den in jüngster Zeit von Beyerinck[2]) studirten streng aëroben Bacillus radicicola.

Weiter muss, wie ich ebenfalls früher hervorhob, bei lückenlosen Geweben der Sauerstoff im Ueberschuss in die umschliessenden Zellen eintreten, durch welche er seinen Weg zu den inneren Zellen zu nehmen hat, welche im Urmeristem und in ausgewachsenen Geweben durch Wachsen und Protoplasmaströmung für normale Athmungsthätigkeit Zeugniss ablegen. Endlich ist die unveränderte Kohlensäureproduction bei sehr weitgehenden Schwankungen im Sauerstoffgehalt der umgebenden Luft — der ohne nennenswerthen Einfluss zu üben etwa zwischen 3 und 200 % variiren kann[3]) — nur denkbar, indem schon bei geringer Menge von Sauerstoff dieser genügend in die Zelle gelangt, demgemäss aber im Ueberschuss eindringen muss, wenn bei Steigerung des Partiärdruckes in der Zeiteinheit so sehr viel mehr Moleküle an die Zelle anprallen.

---

1) Vgl. Unters. a. d. bot. Inst. in Tübingen, Bd. I, p. 684.

2) Bot. Zeitung 1888, p. 801.

3) Vgl. Cap. 11.

In der That konnten Zweifel nur unter irrigen Annahmen über die Oxydationsvorgänge in der lebenden Zelle entstehen. So geht Reinke[1]) von der unrichtigen Voraussetzung aus, dass die in der ausgepressten Saftmischung sich färbenden Chromogene auch in dem Zellsaft der lebendigen Zelle bei Präsenz von passivem Sauerstoff oxydirt werden müssten, und schliesst dann allein auf Grund dieser falschen Prämisse, dass aller Sauerstoff in der Peripherie des Protoplasmas im Athmungsprocess beschlagnahmt werde, also dieserhalb nicht bis in den Zellsaft gelange.

Natürlich kann in einer Zelle je nach Umständen der Sauerstoffgehalt sehr verschieden sein und im sauerstofffreien Raume sogar gänzlich schwinden. Demgemäss muss auch die Sauerstoffzufuhr so regulirbar sein, dass das consumirende Protoplasma nichts von diesem Körper bis zum Zellsaft gelangen lässt. Wenn wiederum in andern Fällen, und so bei Production von Sauerstoff in der Zelle, ein grosser Ueberschuss von Sauerstoff sich einstellen wird, so kann man doch keine Ausscheidung von Gasblasen dieserhalb erwarten. Denn die hohen Druckzustände in den Zellen führen, wie in der Sodawasserflasche, eine gesteigerte Löslichkeit der Gase herbei, deren Ausgabe nach aussen aber mit der einem höheren Partiärdruck entsprechenden Absorption verhältnissmässig steigt, so dass eine zur Ausscheidung von Gasblasen nöthige Uebersättigung normal wohl nie eintreten wird.

An dieser Stelle ist es nicht unsere Aufgabe, die Mittel und Wege zu erörtern, durch welche die Pflanzen genügend mit Sauerstoff versorgt werden und ebenso nicht der anaëroben Bacterien zu gedenken, welche den Sauerstoff ganz zu vermeiden haben. Der Mangel intramolekularer Athmungsthätigkeit in den unter normalen Verhältnissen vegetirenden Pflanzen lehrt aber, dass unter diesen Umständen die Pflanzen bis in interne Gewebe hinein genügend Sauerstoff für normale Athmungsthätigkeit zugeführt erhalten. Dabei kann allerdings die in einer Zelle vorhandene Sauerstoffmenge einem sehr geringen Partiärdruck entsprechen, da, was auch biologisch wichtig ist, ein solcher schon für den Unterhalt der Sauerstoffathmung genügt. Im sauerstofffreien Raume wird aber der in einer Pflanze

---

1) Botan. Zeitung 1883, p. 95, 98. Zeitschrift f. physiol. Chemie 1882, Bd. 6, p. 264. Vgl. Pfeffer, Unt. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 683.

vorhandene Sauerstoff durch den erheblichen Consum in der Athmung und nöthigenfalls unter Mitwirkung der nach aussen gerichteten Diffusion bald verschwunden sein.

Die Absorptionsverhältnisse für Sauerstoff im Protoplasma und im Zellsaft sind noch unbekannt, und man kann nicht von vornherein behaupten, dass sie mit Wasser oder mit verdünnten Salzlösungen übereinstimmend sein müssen. Es würde auch in keiner Weise an unseren Schlussfolgerungen etwas ändern, wenn eine Bindung des Sauerstoffs stattfände, denn eine solche, wie sie im Blute Factum ist, bringt nur eine gewisse Anhäufung, aber keine Activirung des Sauerstoffs mit sich, die thatsächlich im Blute ebenfalls fehlt[1]). Die Unempfindlichkeit der Pflanzen gegen selbst sehr ansehnliche Mengen von Kohlenoxyd, welches durch Verdrängung des Sauerstoffs aus der Hämoglobinbindung so giftig für höhere Thiere wirkt, ist eine beachtenswerthe Thatsache, indess nicht im Stande, eine Bindung von Sauerstoff in der Pflanzenzelle zu widerlegen.

Vermag man im allgemeinen als eine Folge der Mischung zuvor räumlich getrennter Stoffe es wohl zu verstehen, dass mit dem Tode eintretende Oxydationen im Leben unterbleiben und ein Chromogen sich ungefärbt in der lebenden Zelle erhält, trotz der Gegenwart von Sauerstoff oder sogar, wie früher für manche Fälle gezeigt, trotz der Präsenz von Wasserstoffsuperoxyd, so wird doch erst ein weiteres Studium die in einem einzelnen Falle massgebenden Factoren aufzuhellen vermögen. Für solche Studien, die hier nicht in meinem Plane lagen, dürfte die Kenntniss der Eigenschaften des isolirten Chromogens vermuthlich den besten Schlüssel liefern. Hier sei nur daran erinnert, dass ein Chromogen an sich schon nicht autoxydabel (also dysoxydabel oder bradoxydabel)[2]) sein oder solche Resistenz gegen den passiven Sauerstoff erst durch Vereinigung mit bestimmten Körpern oder Stoffgemischen erlangen könnte. In beiden Fällen wird

---

1) Vgl. Hermann, Handbuch d. Physiologie 1882, Bd. IV, 2, p. 48, 94. Ebenda ist (p. 62) darauf hingewiesen, dass bei manchen wirbellosen Thieren das Hämoglobin durch andere Körper ersetzt sein dürfte.

2) Traube (Bericht. d. chem. Gesellschaft 1882, Bd. 15, p. 19) nennt autoxydabel einen Körper, welcher bei gewöhnlicher Temperatur durch passiven Sauerstoff oxydirt wird, dagegen bradoxydabel oder dysoxydabel (ebenda 1883, Bd. 16, p. 463) einen solchen, bei dem es zur Oxydation activirten Sauerstoffs bedarf.

aber für die so gegebenen Bedingungen eine Vermittelung nöthig, um eine Oxydation des Chromogens herbeizuführen. Solches wäre wiederum in sehr verschiedener Weise denkbar, denn es könnte sich beispielsweise um eine Sauerstoffübertragung, sei es mit oder ohne Activirung dieses, oder um Herbeiführung von Autoxydation des Chromogens handeln. Letzteres wird vielleicht für gewisse Chromogene durch Herstellung alkalischer Lösung erreicht, in welcher nachweislich manche Stoffe durch neutralen Sauerstoff oxydirt werden (vgl. p. 410).

Als Ursache für unterbleibende Färbung in lebenden Zellen kann die Existenz von Stoffen, welche durch Beschlagnahme des Sauerstoffs die Oxydation des Chromogens verhindern, für den Zellsaft nicht in Betracht kommen, denn solche Körper können bei Ueberschuss von Sauerstoff sich nicht erhalten. Ebenso ist bei solchem Sauerstoffüberschuss nicht daran zu denken, dass zwar dauernd das Chromogen den Sauerstoff spaltet, eine Oxydationsfärbung aber durch gleichzeitige fortwährende Reductionsthätigkeit nicht zur Erscheinung kommt. Ein Beweis gegen solche Reduction liegt ferner in der Erhaltung einer selbst geringen Anfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd in dem Zellsaft von Faba, Trianea u. a. (vgl. p. 385). Nach dieser Thatsache kann man auch nicht daran denken, dass der neutrale Sauerstoff das Chromogen fortwährend, aber zu farblosen Producten verbrennt. Zudem findet in Faba (das Gleiche gilt für die durch Wasserstoffsuperoxyd entfärbten Blüthen) keine Neubildung des Chromogens statt, denn als nach der Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd ausgewachsene Zellen des Stengels während 20 Tagen weiter gelebt hatten, erzeugte neue Zufuhr dieses Reagens keine weitere Färbung im Zellsaft der lebenden Zellen. Diese und vielleicht viele Chromogene, und ebenso die Farben von Blüthen u. s. w., werden also anscheinend der Regel nach nicht weiter in den Stoffumsatz gezogen, dienen also auch normalerweise nicht als Athmungsmaterial im Protoplasma.

Nach den positiven Oxydationserfolgen mit Wasserstoffsuperoxyd scheinen die Chromogene, sowie bekanntlich die meisten gelösten Farbstoffe, sich zumeist im Zellsaft zu finden, und wenn mir für den Augenblick kein sicheres Vorkommen eines Chromogens im Protoplasma bekannt ist, so soll solches Vorkommen damit nicht geleugnet

werden[1]). Bei solcher Separirung der Chromogene im Zellsaft dürften wohl im Protoplasma diejenigen Stoffe sich finden, welche durch ihr Hinzutreten mit dem Tode die Oxydation des Chromogens herbeiführen, doch könnte natürlich auch Trennung nach Zellen vorkommen.

Zumeist scheint nicht, oder doch nicht allein, eine Reactionsänderung des Zellsaftes, sondern der Zutritt eines Oxydationsvermittlers für den Sauerstoffeingriff in das Chromogen entscheidend zu sein. Bei Faba wenigstens hatte eine Einwirkung von 0,1- und 1proc. Lösung von Ammoncarbonat keine merkliche Färbung im Zellsaft zur Folge, so lange die Zellen lebendig waren. Alkalische Reaction dürfte also, wie in ausgepressten Säften, nur eine wesentliche Beschleunigung der Oxydation, wenigstens gegenüber schwach sauren oder neutralen Säften erzielen (p. 410). Die Existenz von Körpern aber in ausgepressten Pflanzensäften, welche sowohl gegenüber bestimmten natürlich vorkommenden Chromogenen, als gegenüber Reagentien sich als Oxydationsvermittler zu erkennen geben, und diese Eigenschaft durch Aufkochen verlieren, hat schon Schönbein nachgewiesen, wie oben bereits mitgetheilt ist.

Aus dieser kurzen Discussion ergeben sich für den Nachdenkenden auch Mittel und Wege, um die hier in Betracht kommenden Fragen im Näheren aufzuhellen. Vielleicht kann bei diesen Studien über die Ursachen der Nichtoxydation der Chromogene in lebenden Zellen, ebenso wie bei gleichen Studien hinsichtlich des Wasserstoffsuperoxyds, die künstliche Einführung von bestimmten Stoffen Bedeutung gewinnen und es ist ja sogar möglich, in Myxomyceten feste, activirende Körper, wie z. B. Platinmohr, zu bringen.

Ob durch bestimmte äussere Bedingungen eine Oxydation der Chromogene oder Farbstoffe durch passiven Sauerstoff in der lebenden Pflanze erzielbar ist, wurde nicht näher untersucht. Einige früher (p. 434) mitgetheilte Versuche ergaben negatives Resultat, so auch bei Erhöhung der Temperatur. Indess ist nicht ausgeschlossen, dass ausgedehntere Versuche auch zu anderen Erfahrungen führen und

1) Für das Chromogen, das in den Plasmodien von Aethalium septicum vorzukommen scheint (Reinke, Zeitschrift f. physiol. Chemie 1882, Bd. 6, p. 276), ist noch unerwiesen, ob dessen Sitz im Protoplasma selbst oder in den zahlreich eingestreuten kleinen Vacuolen zu suchen ist.

es könnte ja nicht überraschen, wenn erst mit gesteigerter Temperatur gewisse Körper zur Spaltung des passiven Sauerstoffs befähigt würden.

Durch normale Beleuchtungsverhältnisse werden die von uns beobachteten Chromogene und Farbstoffe in der lebenden Zelle nicht oxydirt, denn bei dem Verbleiben dieser Reaction würde sich dieses in Färben, resp. Entfärben geltend machen. Doch mag es wohl Ausnahmen geben und ich muss z. B. dahin gestellt lassen, ob die in manchen Pflanzen durch Beleuchtung erzielbaren Färbungen die Folge einer vom Licht veranlassten Oxydationswirkung sind. Dass Beleuchtung vielfach Oxydationen in todten Massen veranlasst oder beschleunigt, ist ja wohl bekannt, und wir hatten z. B. schon Veranlassung, darauf hinzuweisen, dass Cyanin in wässriger Lösung, aber auch nach Imbibition in das Protoplasma, durch Licht in Folge von Oxydation entfärbt wird (p. 419). Uebrigens ruft normale Beleuchtung gewöhnlich keine auffälligen Verbrennungen in der lebenden Pflanze hervor, da Bonnier und Mangin[1]) in belichteten chlorophyllfreien Pflanzen sogar eine gewisse Verminderung der Athmungsthätigkeit fanden.

Im concentrirten Sonnenlicht vermochte dagegen Pringsheim[2]) durch eine vom Sauerstoff abhängige Oxydation z. B. Chlorophyllkörper und den blauen Zellsaft der Staubfadenhaare von Tradescantia zu entfärben. Diese letztgenannte Oxydation unterbleibt aber in gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen, denn die Staubfadenhaare von Tradescantia bewahren ihre Färbung, obgleich sie den oxydirten Farbstoff nicht zu regeneriren vermögen.

Ich hatte keine Veranlassung, die excessiv gesteigerte Lichtwirkung mit Rücksicht auf unsere Fragen zu studiren, und lasse dahin gestellt, ob die damit erzielten Erfolge zu Wege kommen, indem allein in den zu oxydirenden Körpern gesteigerte intramolekulare Bewegungen eintreten, oder indem zugleich der molekulare Verband im Sauerstoffmolekül etwas gelockert wird.

---

1) Annal. d. scienc. naturell. 1884, VI. sér., Bd. 17, p. 274 u. Bd. 18, p. 314.

2) Jahrb. f. wiss. Botanik 1879—84, Bd. 12, p. 340, 348, 351, 369 u. s. w.

IX. Einige Bemerkungen über functionelle Arbeitstheilung.

Zum Verständniss des Verhaltens der Chromogene und überhaupt für physiologische Vorgänge, ist die räumliche Trennung der Stoffe und allgemein die Arbeitstheilung in der Zelle stets wohl zu beachten. Obgleich solche Anforderung schon durch die Elemente der Zellenlehre, und z. B. anschaulichst durch die Thatsache gefordert wird, dass gewöhnlich gelöste Farbstoffe allein im Zellsaft sich finden, werden dennoch häufig die chemischen oder physikalischen Eigenschaften ausgepresster Säfte schlechthin als Maassstab für die Constitution der Lösungen in der lebendigen Zelle genommen. Damit verfährt man aber thatsächlich wie ein Chemiker, der die Eigenschaften einer Lösung noch als unverändert ansieht, nachdem er verschiedene, theilweise in Umsetzungen tretende Stoffe beigemischt hat, denn es ändert natürlich nichts an der Sachlage, dass die in jeder einzelnen lebenden Zelle separirten Massen eine makroskopisch wahrnehmbare Grösse nicht erreichen. Bei solcher Sachlage dürfte es nicht ungerechtfertigt sein, die aus der Arbeitstheilung in der Zelle entspringenden complicirten Verhältnisse hier ein wenig anzudeuten.

Bei Mangel von directer Wahrnehmbarkeit oder bei Mangel an Reagentien, die ohne Tödtung verwendbar sind, ist es freilich nicht immer möglich, die Vertheilung eines Stoffes in der lebenden Zelle zu präcisiren; indess darf doch dieserhalb nie vergessen werden, dass Zellsaft und Protoplasma thatsächlich räumlich getrennte Laboratorien sind. Von diesen ist die Vacuolenflüssigkeit (der Zellsaft) ein an sich todtes Organ in dem eigentlichen lebendigen Organismus, das aber unter mannigfacher Wechselwirkung mit dem Protoplasmaorganismus besondere Functionen im Dienste des Lebens zu vollbringen hat. Dieserhalb kommt zwar der Vacuolenflüssigkeit keine Stabilität zu, aber da dieselbe, abgesehen von festen Ausscheidungen, eine homogene Lösung ist, so bietet sie unendlich einfachere Verhältnisse dar, als der Protoplasmakörper. Denn dieser Elementarorganismus ist ebensogut aus differenzirten Organen aufgebaut, wie eine Schnecke oder irgend ein anderes lebendiges Wesen, und so

sind in ihm mit andern complicirten Einrichtungen auch räumliche Trennungen von Stoffen vereinigt. An dem Wesen dieser Sachlage wird nichts geändert, wenn in derselben Zelle verschiedene von einander getrennte Vacuolen mit ungleichem Inhalt sich vorfinden, wie solches bei Gegenwart von Gerbsäure- oder Farbstoffbläschen der Fall ist und für die zum Theil winzigen, vom Zellsaft getrennten Vacuolen im Protoplasmaleibe häufiger der Fall sein dürfte.

In dem Zellsaft sind demgemäss statische Zustände und Veränderungen ebenso wie in einer homogenen Lösung zu beurtheilen, aber allerdings mit sorgfältiger Berücksichtigung der besonderen Umstände. Abgesehen davon, dass der Zellsaft stets ein Gemisch verschiedener Stoffe ist, werden in ihm in Folge der mannigfachen Wechselwirkungen mit dem lebendigen Protoplasten, so z. B. durch Zuführung und Hinwegnahme von Körpern, verschiedene Processe eingeleitet oder fortgeführt. So ist u. a. von höchster Bedeutung, dass durch Diosmose und theilweise in Abhängigkeit von den veränderlichen Functionen im Protoplasma, einzelne Producte einer Reaction dem Zellsaft entzogen werden können und dieses, sowie aller Austausch, verhältnissmässig sehr schnell möglich ist, weil die diosmotisch thätige Oberfläche bei dem absolut geringen Volumen des Zellsaftes natürlich relativ sehr ansehnlich ist[1]). Voraussichtlich entspringen aus den geringen Dimensionen des Vacuolenraumes wohl noch andere Eigenthümlichkeiten, und in jedem Falle ist der hohe Druck zu beachten, unter welchem, in Folge osmotischer Leistungen, die Flüssigkeit des Zellsaftes steht.

Mischungen und Reactionen im Reagensrohre können deshalb nicht schlechthin und in jedem Falle als Maassstab für die Eigenschaften und Umsetzungen im Zellsaft dienen. Da aber eine Isolirung dieses, ohne Tödtung und also ohne Beimischung von Stoffen aus dem Protoplasma, noch nicht ausgeführt wurde, da ferner die stoffliche Zusammensetzung der Vacuolenflüssigkeit nicht einmal qualitativ, geschweige denn quantitativ vollständig bekannt ist, so ist es zunächst

1) Die im Verhältniss zum Volumen grosse Oberfläche ist auch für kleine Organismen zu beachten, so z. B. für Hefe und Bacterien, die für die Flächeneinheit gar keinen so grossen Stoffaustausch entwickeln müssen, um bei Zusammenwirken grösserer Mengen dieser Organismen sehr ansehnliche Stoffmengen aufnehmen und ausscheiden zu können.

geboten, aus dem Studium an lebenden Pflanzen Eigenschaften und Vorgänge im Zellsaft zu ermitteln.

Für diese Aufgabe aber sind alle an sich sichtbaren oder sichtbar zu machenden Eigenschaften und Veränderungen in der Vacuolenflüssigkeit von wesentlichster Bedeutung[1]). In diesem Sinne sind auch die Chromogene, welche im Leben nicht durch den neutralen Sauerstoff oxydirt werden, Reagentien und ebenso sind es alle fassbaren Vorgänge, die erst mit dem Tode eingeleitet werden. Dahin gehört u. a. die Ausscheidung des im Leben gelösten Inulins oder Hesperidins mit dem Tode, die gelegentliche Uebersättigung mit Asparagin, ferner gehören z. B. hierher wirkungsfähige Enzyme oder zerspaltbare Glycoside, deren nähere Vertheilung in der Zelle freilich zumeist noch zu ermitteln ist. Weiter sind natürlich vorkommende oder künstlich einführbare Farbstoffe bedeutungsvoll als Indicien für die Reactionsverhältnisse oder auch für andere Zwecke. Indem ich mich mit diesen Hinweisen begnüge, möchte ich noch bemerken, dass die bereits zur Verfügung stehenden Mittel noch keineswegs in besagtem Sinne ausgenutzt und sicher noch viele anwendbare Mittel aufzufinden sind.

Die Rückführung der Vorgänge im Zellsaft auf die causalen Bedingungen ist deshalb nach dem Gesagten keineswegs eine leichte Aufgabe. Ein tieferes Eindringen aber wird auch gewichtige Rückschlüsse auf Functionen im Protoplasma gewähren. Eine vollständige Aufhellung aller vitalen Vorgänge freilich kann auch die vollständigste Einsichtnahme in die Gesammtheit der Processe im Zellsaft niemals liefern, denn die Wirkungen, welche der Zellsaft von Seiten des Protoplasmakörpers erfährt, entspringen sicher oft als Folgen verwickelter Processe in diesem, die z. B. die nackte Thatsache der Secretion eines Productes aus dem Protoplasma nicht zu durchschauen erlaubt. Die Frage, warum der Zellsaft — den man als ein Organ im lebendigen Organismus auch ruhig lebenden Zellsaft nennen darf — während des Lebens besondere Verhältnisse bietet, ist nur ein Theil der allgemeinen Frage, warum überhaupt mit dem Tode die Organismen

---

1) Vgl. hierüber Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 316. Hier ist auch in Anmerkg. 7 der Nachweis für die gelegentliche Uebersättigung mit Asparagin mitgetheilt.

anderen Umsetzungen anheimfallen, denen sie im Leben widerstanden. Ueber diese Vorgänge, zu welchen auch Fäulniss und Verwesung gehören, wundert man sich wohl gewöhnlich deshalb nicht, weil man sie als etwas erfahrungsgemäss Selbstverständliches ansieht. Factisch aber würde eine vollständige Rückführung auf die letzten Gründe — nicht etwa nur auf complexe Grössen, wie es schon jetzt möglich ist — die Erkenntniss der wesentlichen Eigenschaften und Bedingungen des lebendigen Zustandes nöthig machen, ein Ziel, dessen Erreichung für die nächsten Zeiten wir leider noch nicht erhoffen dürfen.

Wie schon gesagt, liegen in der Lösung der Vacuolenflüssigkeit die Verhältnisse unendlich einfacher, als im lebenden Protoplasma. Denn dieses ist ein zusammengesetzter Organismus, dessen Glieder sicherlich verschiedene Functionen vollziehen, aus deren Zusammengreifen die Gesammtleistungen der lebendigen Protoplasten resultiren. Dass dem so ist, geht unzweifelhaft aus der wahrnehmbaren Existenz distincter Gliederung hervor, wie sie durch Zellkern, Chromatophoren, Mikrosomen, Hautschicht und andere Structurverhältnisse gekennzeichnet wird, und dieser allgemeine Schluss ist ganz unabhängig von den näheren Verhältnissen in der functionellen Arbeitstheilung und den weiteren Eigenschaften des Ganzen und seiner einzelnen Glieder.

Schon bei anderer Gelegenheit[1]) wies ich darauf hin, wie man sich wohl Zusammenfügung und Zusammenwirken im Protoplasma an unserem Planetensystem versinnlichen kann. In diesem verändern ebenfalls die einzelnen Glieder ihre räumliche Lagerung und bleiben doch in gesetzmässigem Zusammenhalt und als einheitliches Ganzes nach aussen bestehen. Ferner ist jeder Planet ein specifisch eigenthümlicher Körper, in welchem sich an der Oberfläche und im Innern die mannigfachsten Veränderungen dauernd vollziehen können. Ebenso sind auch die Glieder des lebendigen Protoplasmaleibes selbst complicirt aufgebaute Körper[2]), in denen in verhältnissmässig noch viel

1) Unters. a. d. botan. Institut in Tübingen Bd. II, p. 316.

2) Es ist damit auch ausgesprochen, dass die Zergliederung von Organen erst in letzter Instanz auf Micellen oder Moleküle führt, zuvor aber auf Complexe höherer Ordnung führen kann, die in einem analogen Sinne, wie die sichtbaren Theile des Protoplasmakörpers, Organe im Organ sind.

höherem Grade Umwandlungen, und zum Theil solche tiefgreifendster Art, vor sich gehen, Vorgänge, die theilweise direct, wie z. B. am Zellkern, durch gestaltliche Aenderungen und allgemein auch durch Thätigkeit und Vermehrung oder auch Verschwinden gekennzeichnet werden. Dazu kommt für den Mikrokosmos der lebenden Zelle die Zusammenführung der Theile auf kleinen Raum, mit allen sich daran schliessenden Consequenzen in Betracht. Und bei der geringen Grösse schon vieler der sichtbaren Organelemente ist es eher wahrscheinlich, dass auch vorübergehend oder dauernd Molekülcomplexe oder auch höher differenzirte Theile als functionirende Organe auftreten, deren Dimensionen die Grenze optischer Wahrnehmbarkeit nicht erreichen. Deshalb müssen solche Organelemente noch nicht verschwindend klein gegenüber einer kleinen Zelle sein, und wenn man z. B. im Verhältniss dieser, gegenüber dem Volumen eines grossen Säugethieres, die Blutkörperchen dieses letzteren sich verkleinert denkt, so würden dieselben unter die Grenze optischer Wahrnehmbarkeit ($= \frac{1}{2}$ Wellenlänge des angewandten Lichtes) sinken. Und können Organe in einer kleinen Zelle überhaupt nur von geringen Dimensionen sein, so sind dieselben deshalb doch nicht minder wesentlich und bedeutungsvoll, wenn auch functionell von anderem Werthe, als die grösseren und kleineren Organe in ansehnlicheren Organismen.

Eine physiologische Behandlung des Protoplasten als homogene Masse steht in ganz directem Widerspruch mit sicheren Thatsachen und ist ebenso fehlerhaft, als etwa das Bestreben, das Wesen und die Thätigkeit einer Uhr allein aus Qualität und Quantität eines Metallgemisches erklären zu wollen. Ebenso wie eine Uhr mit dem Zusammenstampfen aufhört ein leistungsfähiger Mechanismus zu sein, ist auch mit der Zerstörung der zur functionellen Thätigkeit nothwendigen Anordnung der Theile die Fortdauer lebendiger Thätigkeit des Protoplasmakörpers unmöglich. Dennoch sind, wenn man z. B. ein vacuolenfreies Protoplasma im Mörser sich zerrieben und gemischt denkt, die chemischen Bestandtheile der Qualität und Quantität nach vereinigt geblieben und diese einfache Erwägung mag am besten darthun, wie ganz verkehrt es ist, allein aus chemischer Qualität und Quantität der aufbauenden Stoffe eine Erklärung der Eigenschaften des lebendigen Protoplasmas zu erhoffen. Wie in jedem Mechanismus kommt es auch im Protoplasma auf Bau und Eigen-

schaften der einzelnen Theile und auf ihr gesetzmässiges Zusammengreifen an, aber allerdings spielt im Organismus die chemische Qualität noch eine wesentlich andere Rolle, als in der Uhr, die ja thatsächlich aus verschiedenem Metall hergestellt werden kann. Denn das Constructionsmaterial ist in dem Organismus durch seine chemischen Eigenschaften mitbestimmend für den Aufbau in den Organen und somit in dem ganzen Protoplasten und ebenso für die Veränderungen, welche eine Zelle im Laufe ihres Lebens durchzumachen hat.

So wie man aber bestrebt sein muss, die Vorgänge in der Pflanze zunächst auf die Functionen der einzelnen complexen Organe und endlich der Zellen zurückzuführen und aus deren Zusammengreifen zu erklären, so wie man weiter dann die complexe Zellenfunction in das Zusammenwirken der näheren Bauelemente, also des Protoplasmas, des Zellsafts und der Zellhaut zu zerlegen hat, so muss ebenso das Streben dahin gehen, die complexen Functionen des Protoplasmakörpers aus Thätigkeit und Zusammenwirken der einzelnen Theile dieses verstehen zu lernen[1]). Nur auf diesem Wege kann man hoffen, die Causalität der so wunderbaren Leistungen des Protoplasten mehr und mehr aufzuhellen, und da von dem Protoplasmaorganismus überhaupt alle Lebensfunctionen abhängen, so ist in dem soeben klar vorgezeichneten Ziele eine der höchsten, aber auch schwierigsten physiologischen Aufgaben gekennzeichnet.

Mit Sicherheit darf man annehmen, dass wie so viele Leistungen des Organismus, so auch die uns entgegentretenden Functionen des lebendigen Protoplasten sehr oft nicht einem einzelnen Acte, sondern einer Verkettung von Processen entspringen, welche zu ihrer Durchführung der gleichzeitigen oder successiven Mithülfe verschiedener Organe im Protoplasma bedürfen. Kennt man aber unter solchen Umständen nur die Anfangs- und Endglieder, so hat man in den Verlauf der Vorgänge ebensowenig eine Einsicht, wie etwa in die mannigfachen Operationen einer Fabrik, von der wir nur constatiren können, dass Theer eingeführt und Farbstoffe nebst anderen Producten herausgeführt werden, während jeder Einblick in das Innere verschlossen ist. Auch in einer solchen Fabrik haben viele Menschen und in deren Dienste sehr mannigfache Operationen der Reihe nach

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 2.

zu wirken, um die endlichen Producte herzustellen und zur Veranschaulichung des Princips wenigstens, kann dieses Beispiel immerhin dienen, wenn es auch naturgemäss nicht alle dem Rechnung trägt, was im lebendigen Organismus in Betracht zu ziehen ist.

Unsere Kenntnisse über die functionelle Bedeutung der Organe im Protoplasmakörper sind freilich noch nicht weit gediehen. Mit Sicherheit sind die Chlorophyllkörper, bis zu gewissem Grade auch die Stärkebildner, als Organe bestimmter Function gekennzeichnet und die Hautschicht (Plasmahaut, Vacuolenwand) lernte ich vor Jahren als das Organ kennen, von welchem der diosmotische Austausch mit dem Zellsaft und der Aussenwelt abhängt[1]). Vom Zellkern weiss man, wenn man einen strengen Maassstab anlegt, nur, dass er ein wichtiges und unentbehrliches Organ ist[2]), mit dessen Mangel die Gesammtheit oder einzelne der nothwendigen Functionen nicht mehr realisirt werden. Welche Aufgaben speciell den Mikrosomen[3]), die augenscheinlich verschiedenartig sind, und anderen distincten und nicht weiter differenzirten Theilen des Protoplasmas zufallen, ist unbekannt. Bei der derzeitigen Sachlage aber ist es wichtig, das Nichtwissen zu bekennen und dadurch sich zum denkenden Studium hinreissen zu lassen und nicht aufblitzende Gedanken zu Hypothesen zu stempeln, deren sich leicht ein halbes Dutzend zurecht machen liesse. Auch die Studien über Oxydationsvorgänge ergaben keine bestimmten Anhaltspunkte, ob jene, die so ausgiebig in der Athmung sich abspielen, in bestimmten Theilen des Protoplasmakörpers vorwiegend von statten gehen. In dieser Richtung folgt natürlich nichts daraus, dass bei Trianea Cyanin vorwiegend

---

1) Vgl. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 315.

2) Es gilt das auch hinsichtlich der Sexualität und der sich anschliessenden Fragen über Vererbung, denn ein wirklicher, causaler Einblick in die Rolle des Zellkerns ist leider noch nicht gewonnen.

3) Die Bezeichnung »Mikrosom« ist für mich nur ein Collectivbegriff für die bekannten kleinen Körperchen im Protoplasma, die voraussichtlich in Aufbau und Bedeutung verschiedenartig und vielleicht sogar sehr heterogener Natur sein dürften. (Vgl. u. a. Unters. a. d. Tübinger Institut Bd. II, p. 273.) Theilweise aber dürften diese Körperchen Bauelemente des Protoplasten sein, nur ist es freilich schwer und vielleicht nicht immer möglich, sie von metaplasmatischen Massentheilen zu unterscheiden, die man freilich besser von den Mikrosomen getrennt halten würde.

in den Mikrosomen gespeichert wird und demgemäss in diesen bei Zutritt von Wasserstoffsuperoxyd die ausgiebigste Oxydation bezüglich dieses Farbstoffs eintritt.

Für das tiefere Eindringen in die gekennzeichneten Fragen sind die morphologischen Gestaltungen in der ruhenden und wachsenden Zelle und ebenso die physiologischen Functionen des Gesammtkörpers unerlässliche Fundamente. Aber nur indem sich beide gegenseitig in bestimmter Fragestellung unterstützen und ferner indem aus irgend welchen sichtbaren Vorgängen die Localisirung von Processen im Protoplasma gekennzeichnet wird, sind wirkliche Fortschritte in diesen Fragen zu erwarten.

Zu einem richtigen Verständniss der Functionen im lebendigen Organismus ist noch ganz besonders zu beachten, dass nicht etwa durch vorübergehende stürmische Reactionen, sondern gerade durch continuirlich fortschreitende Thätigkeit die grössten Leistungen erreicht werden. Es ist das unmittelbar in dem allmählichen, aber stetigen Verlauf des ganzen Entwickelungsganges ausgesprochen und gilt auch für einzelne Thätigkeiten, die uns als chemische Umsetzungen oder als irgend andere Leistungen entgegentreten. Solche im Augenblicke geringe, aber durch Ausdauer mächtig anschwellende Erfolge, treten u. a. auch in den Stoffumwandlungen klar hervor, in denen Zerlegen und Zusammenfügen in mannigfacher und wohl oft recht verwickelter Weise sich im Organismus abspielt. So werden wohl öfters die auf einander reagirenden Körper nur successiv geschaffen oder für allmähliches Zusammentreffen ist durch anderweitige Verhältnisse gesorgt und neben anderen Modalitäten spielt mit Sicherheit oft das Fortschaffen eines oder einiger der Reactionsproducte eine hervorragende Rolle. Denn so weit sich übersehen lässt, sind viele Processe im Organismus von der Art, dass die an sich partielle Reaction nur bei Fortschaffung eines Productes weiterschreitet und bis zur Totalität geführt werden kann. Dieser Bedingung für Continuität ist natürlich ebensowohl genügt, wenn das hemmende Product am Entstehungsorte selbst oder räumlich getrennt von diesem, consumirt oder auch zunächst durch Diosmose aus dem Protoplasma oder Zellsaft entfernt wird. In diesen und anderen Fähigkeiten stehen in der lebenden Zelle aber Mittel zur Verfügung, welche in einfachen chemischen Proceduren gar nicht oder doch nicht entfernt

in solcher Mannigfaltigkeit und in solchem Zusammenwirken in Anwendung kommen.

Ein dem benannten Princip entsprechendes Zusammengreifen ist bei der Gleichzeitigkeit vieler Processe und bei der Arbeitstheilung schon innerhalb des Protoplasmas nicht nur möglich, sondern auch sicher thätig. Leichter zu durchschauen sind zusammengesetzte Processe im Allgemeinen bei räumlicher Trennung, und anknüpfend an die diosmotisch vermittelte Auseinanderführung von Stoffen habe ich wiederholt auf die sehr hervorragende und vielseitige Bedeutung des auch für die chemische Statik hochwichtigen Princips der Massenwirkung für die Functionen im lebendigen Organismus hingewiesen[1]). Ein solcher Vorgang liess sich auch vollständig durchsichtig demonstriren, denn es gelang, Methylenblau durch Einwirkung von Citronensäure und diosmotische Entziehung des citronsauren Farbstoffs, gänzlich aus lebenden Zellen zu entfernen, obgleich die gespeicherte Methylenblauverbindung durch Citronensäure nur partiell zersetzt wird.

Die hohe Bedeutung und Zweckmässigkeit der in gegenseitiger Abhängigkeit von einander sich abspielenden Vorgänge liegt für den Organismus in den daraus sich ergebenden Selbstregulationen. Denn um bei den chemischen Umsetzungen zu bleiben, wenn der Consum eines Productes für die Fortführung eines Processes nothwendig ist, so steht ja dieser stille, sobald mit Aufhören des Verbrauchs die Bedingung für weiteres Fortschreiten hinweggenommen ist, und so regelt also der Verbrauch die Umsetzung in einer dem Bedürfniss entsprechenden Weise. Dem Wesen der Sache nach bleibt solches Verhältniss auch dann bestehen, wenn, zur Vermittelung dieser gegenseitigen Regulation, also für die mechanische Ausführung in irgend welcher Weise auslösende Reizwirkungen oder anderweitige verwickelte Verhältnisse eine Rolle spielen.

Durch diese Erörterungen sollte allgemein betont werden, was ebenso für die in dieser Abhandlung berührten bezüglichen Fragen gilt, dass zur richtigen Auffassung physiologischer Vorgänge das sorgfältige und allseitige Abwägen der in der lebenden Zelle gebote-

1) Pfeffer, Pflanzenphysiol. Bd. I, p. 313; Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 293.

nen Verhältnisse durchaus unerlässlich ist, und es ist damit natürlich nicht ausgeschlossen, dass auch ohne solche Rücksichtnahme eine Einsicht in einzelne Processe möglich ist. Natürlich bleiben in jedem Falle die chemischen und physikalischen Erfahrungen an todten Massen Fundamente, mit denen die Physiologie zu operiren hat, deren Eigenheit und Selbständigkeit aber durch die Besonderheiten des lebenden Wesens bedingt ist. Eben dieser besonderen Bedingungen halber können chemische Umsetzungen — um speciell an diesen zu bleiben — in besonderer Weise sich abspielen und es ist ja in keinem Falle gesagt, dass zur Erzielung gleicher Producte aus demselben Ausgangsmaterial immer dieselbe Kette von Operationen nothwendig ist.

Die obigen Erwägungen hielten sich sachgemäss an die ausgebildete und in einem bestimmten Sinne arbeitsthätige Zelle, in welcher zwar, wie schon hervorgehoben ist, die einzelnen Organe und Bausteine nicht unveränderte Qualität bewahren müssen, in der aber doch eine relative Stabilität besteht im Vergleich zu einer sich noch ausgestaltenden und ihre Function allmählich verändernden Zelle. In solchem stetigen Wechsel treten uns neue Fragen und Verwickelungen entgegen und es dürfte deshalb eine in constanter Function, also im statischen Zustand verharrenden Zelle, vielfach der auf Causalität zielenden Forschung geringere Schwierigkeiten bieten.

Indem wir den Organismus als gegeben hinnehmen, können wir in den zunächst auf Stoffwechsel und Kraftwechsel bezüglichen Aufgaben diejenigen wichtigen Fragen ausser Acht lassen, welche die causale Entstehung und erbliche Erhaltung des Organismus und seiner Theile in den jeweiligen specifischen Qualitäten zum Vorwurf haben[1]). Allerdings dürfen auch diese Fragen nie aus dem Gesichtskreis des Forschers entschwinden, wenn auch in dem durch bestimmte Aufgaben gestellten Studium eine weise Einschränkung auf nächste erreichbare Ziele unvermeidlich geboten ist. Es ist ja auch selbstverständlich, dass eine Einsichtnahme innerhalb der angedeuteten Grenzen möglich ist, ohne dass man die Entstehungsgeschichte derjenigen Organe kennt, deren Functionen zu ermitteln sind. Ebenso wie für die ganzen Pflanzen gelten diese allgemeinen Erwägungen

1) Vgl. z. B. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 6.

auch für die einzelne Zelle und ihre Glieder[1]). Auch in dieser handelt es sich ebensowohl, wie in der ganzen Pflanze, um einheitliches Zusammenwirken der in gegenseitiger Abhängigkeit stehenden Organe, und dieses Ziel wird offenbar theilweise durch dynamische oder materielle Einwirkungen nach mechanischen Aequivalenten oder durch auslösende Actionen auch innerhalb der einzelnen Zelle erreicht[2]).

Die einfachsten und bei unseren heutigen Kenntnissen durch-

---

1) Für Zellkern und Chlorophyllkörper ist bekanntlich festgestellt, dass sie, so weit bekannt, nur als Descendenten ihres Gleichen entstehen. Hinsichtlich der Plasmahaut und der Vacuolen liegt die Sache wesentlich noch so, wie ich sie vor nicht langer Zeit darlegte (Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. II, p. 319). Es scheint hiernach, dass diese Organe auch aus den zu anderen Functionen anpassbaren Theilen des Protoplasmas entstehen können. Jedenfalls haben Went's Untersuchungen nicht das Gegentheil bewiesen (Jahrb. f. wiss. Botanik Bd. XIX, p. 295). Denn aus der Thatsache der Theilung (die übrigens bei normaler Zelltheilung für ansehnlichen Zellsaft eine Nothwendigkeit ist) und aus der allgemeinen Existenz kleinerer Vacuolen in den Protoplasten (die meines Wissens auch bisher wenigstens nicht geleugnet ist) folgt doch nicht, dass Vacuolen, ohne Theilung, nicht neu entstehen können. Und wenn solche Neubildungen auch nur beschränkt eintreten, die Theilung aber der gewöhnliche Vermehrungsmodus sein sollte, wäre dennoch die Frage in dem oben angedeuteten Sinne und also gegen Went's Annahme entschieden. Gerade diesen Cardinalpunkt hat Went nicht in Erwägung gezogen. Thatsächlich kann man aber durch Aufnahme von festen Leimstückchen, die mit Indigcarmin gefärbt sind (wie ich l. c. p. 322 mittheilte), in Myxomyceten kleine Vacuolen erzeugen, und diese können doch dann nicht wohl aus präexistirenden Vacuolen ihren Ursprung nehmen, wenn schon die Leimstückchen grösser als diese sind. Da diese blauen Vacuolen sich im lebenden Protoplasma längere Zeit erhalten, auch gegen letzteres, soweit das zu beurtheilen ist, ebenso abgegrenzt sind, wie andere Vacuolen, so ist gewiss kein Grund, sie, einer Theorie zu Gefallen, als pathologische Producte anzusehen. — Viel leichter gelingt die Erzeugung solcher Vacuolen, indem man Kryställchen von Calciumsulfat aufnehmen lässt.

Uebrigens habe ich hier nicht die Absicht, näher auf diese Fragen einzugehen. Anschliessend möchte ich nur bemerken, dass der Uebergang kleiner Vacuolen und ihrer Inhalte in den Zellsaft thatsächlich eine Ausstossung aus dem Protoplasma ist, die Wakker (Jahrb. f. wiss. Bot. XIX, p. 423) wenigstens für feste Körper ausschliessen möchte. Es wäre aber doch wunderbar, wenn solche in den Myxomyceten bekanntlich in so hohem Grade ausgebildete Fähigkeit für Aufnahme und Ausgabe fester Partikel in den von Zellhaut umschlossenen Protoplasten ganz und gar fehlte. (Vgl. übrigens Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut Tüb. Bd. II, p. 297.)

2) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiol. Bd. I, p. 4.

sichtigsten Wechselwirkungen bieten uns die Chlorophyllkörper, welche ebensowohl für den sie beherbergenden Protoplasten, als auch für alle nicht grünen Zellen derselben Pflanze und endlich auf directerem oder indirectem Wege für alle lebendigen Organismen die organische Nahrung zu liefern haben. In dem eignen Protoplasten leisten die Chlorophyllkörper in ernährungsphysiologischer Hinsicht wesentlich dasselbe, wie die in manchen Infusorien symbiotisch angesiedelten einzelligen Algen, und sind diese auch selbständige, zu freiem Leben befähigte Organismen, so haben doch die Chlorophyllkörper auch nur die Fähigkeit aus ihres Gleichen (d. h. aus Chromatophoren) durch Theilung sich zu bilden.

X. Ueber extracellulare Oxydationsvorgänge.

Während wir uns sachgemäss an die Vorgänge in der lebenden Zelle hielten, war wiederholt der Hinweis nothwendig, dass ausgepresste Säfte Reactionen auf activirten Sauerstoff geben können. Diese Thatsache ist aber auch von physiologischem Interesse. Denn einmal taucht damit die Frage auf, ob Pflanzen etwa Oxydationswirkungen ausserhalb der lebendigen Zelle durch Secrete erzielen und jedenfalls müssen Gründe vorhanden sein, welche solche Sauerstoffactivirung erst mit dem Tode der Zelle herbeiführen. Ein näheres Studium der bezüglichen Eigenschaften ausgepresster Säfte lag indess nicht in meiner Absicht und für unsere physiologischen Zwecke genügt zunächst der Hinweis auf einige wesentliche Erfahrungen über die Activirungsvorgänge in solchen Säften. Nach dieser Erörterung soll dann noch kurz auf die Frage über Oxydationswirkung ausserhalb der lebenden Zellen eingegangen werden.

Den Nachweis activirender Wirkungen in Pflanzensäften verdanken wir Schönbein[1]), welcher namentlich die Bläuung von Guajactinctur, oder von Jodkali mit Stärkekleister in Lösung oder als Reagenspapier, jedoch auch Cyanin[2]) und gelegentlich das dem Guajac-

1) Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 198; Zeitschrift f. Biologie 1868, Bd. IV, p. 367.

2) Vgl. diese Abhandlung p. 421.

auszug sich ähnlich verhaltende Chromogen von Boletus luridus[1]) als Reactionen, resp. als Reagentien verwandte. In jüngerer Zeit hat Wurster[2]) mit Tetramethylparaphenylendiamin und Dimethylparaphenylendiamin, unter Verwendung dieser als Reagenspapiere, ähnliche Versuche angestellt, ohne indess etwas wesentlich Neues hinzuzufügen. Insbesondere sei nachdrücklichst hervorgehoben, dass auch Wurster immer nur Reactionen durch ausgetretene Säfte erhielt. Denn die aus verletzten Zellen stammenden Stoffe waren es auch, welche die Papiere färbten oder entfärbten, wenn solche an die Schnittfläche von Pflanzentheilen gepresst wurden. Bei solchem Verfahren ist ja naturgemäss keine Einführung in den lebendigen Protoplasmakörper möglich, ja bei Existenz einer Zellhaut, nicht einmal eine Berührung mit der Aussenfläche desselben zu erreichen, und bei intacten Zellen könnten höchstens Secrete dieser ausserhalb der lebendigen Zelle zu Reactionen führen. Demgemäss sind alle Rückschlüsse Wurster's aus den in besagter Weise gewonnenen Erfahrungen auf die Verhältnisse innerhalb der lebendigen Zelle völlig ungerechtfertigt. Uebrigens hatte bereits Schönbein[3]) gefunden, dass die frischen ausgepressten Säfte gegen seine Reagentien keinen activirten Sauerstoff anzeigen und dass dieser erst durch Activirung des zutretenden Sauerstoffs seinen Ursprung nimmt.

Solche Activirungsfähigkeit besitzen nach Schönbein z. B. die Säfte von Taraxacum, Lactuca und sehr vieler, jedoch nicht aller Pflanzen. Ob ein negatives Resultat nur durch Beimischungen erreicht wird, wie Schönbein (p. 214)[4]) vermuthet, braucht hier nicht weiter behandelt zu werden. Sehr beachtenswerth ist in jedem Falle, dass kleine Mengen von Gerbsäure, Cyanwasserstoff, Eisenvitriol und anderen oxydablen Stoffen die bisherige Reactionsfähigkeit in Säften aufzuheben vermögen (l. c. p. 199, 202, 217). Da

1) Vgl. diese Abhandlung p. 448.

2) Berichte d. chem. Gesellschaft 1886, Bd. 19, p. 3195 und in verschiedenen Abhandlungen der Jahrgänge 1886 bis 1888. — Gad, Verhandlungen d. physiol. Gesellschaft 1887 Nr. 5 und Archiv f. Physiologie von du Bois-Reymond 1887, p. 337. Vgl. auch diese Abhandlung p. 425.

3) Vgl. diese Abhandlung p. 443.

4) Die eingeschaltenen Seitenzahlen beziehen sich auf Schönbein's Arbeit in Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105.

aber geeignete Zusätze zu Reductionswirkungen Veranlassung geben, kann man sich nicht wundern, dass solche vermöge der stofflichen Zusammensetzung, und speciell des Gehaltes an oxydablen Stoffen von manchen Säften direct ausgeübt werden. Ebenso ist leicht verständlich, dass bei Gleichzeitigkeit von Activirungs- und Reductionswirkung, je nach Umständen, erstere oder letztere als Resultante sich ergibt. So ist es z. B. in der Kartoffel, die das an die Schnittfläche gepresste Papier mit Tetramethylparaphenylendiamin färbt, aber entfärbend wirkt, wenn solches zwischen zwei Schnittflächen, also bei ziemlichem Sauerstoffabschluss gehalten wird[1]).

Näheres ist noch nicht über die Stoffe und Stoffgemische bekannt, welche die Activirung veranlassen. Diese geht nach Schönbein mit der Zeit verloren und wird durch Kochen sogleich vernichtet; auch in Alkohol gehen die activirenden Substanzen nicht über, denn durch diesen wurde das Chromogen des Boletus luridus isolirt. Voraussichtlich werden nicht immer dieselben Umstände Activirung herbeiführen, doch ist wohl möglich, dass eiweissartige Körper eine Rolle mitspielen können, wenn auch die Activirungsfähigkeit nicht gerade eine allgemeine Eigenschaft der Enzyme zu sein scheint, wie Schönbein vermuthete[2]). Vielleicht tritt öfters der activirte Sauerstoff in Autoxydationsprocessen[3]) auf, doch ist damit nicht ausgeschlossen, dass vielleicht in anderen Fällen Körper als Sauerstoffüberträger in irgend einer Weise wirksam sind. In jedem Falle ist der nachgewiesene Mangel von activirtem Sauerstoff in der lebendigen Zelle ein Beweis dafür, dass die Bedingungen für die bezüglichen Activirungen erst durch Mischung der Säfte herbeigeführt werden. Ein solches Verhältniss kann natürlich durch recht verschiedene Umstände bedingt sein, unter welchen z. B. die räumlichen Trennungen späterhin zusammentretender Stoffe in der Zelle und Hemmungen der Activirungen, resp. der entsprechenden Reactionen durch Gegenwart gewisser Stoffe schon angedeutet sind. Auch ist

---

1) Vgl. Wurster, Ber. d. chem. Gesellschaft 1888, Bd. XXI, p. 1526. Vgl. auch Molisch, Sitzungsb. d. Wiener Akad. 1885, Bd. 95, Abth. 1, p. 230 über das ungleiche Verhalten der Gewebschichten einer Pflanze.

2) Schönbein, Journal f. prakt. Ch. l. c. p. 200; Zeitschrift f. Biologie 1868, Bd. IV, p. 370. Vgl. auch diese Abhandlung p. 448.

3) Vgl. p. 444.

in Betracht zu ziehen, ob etwa Aenderungen in der sauren oder alkalischen Reaction mitwirken, und in gegebenen Fällen könnte auch das Licht[1]) eine activirungsthätige Rolle spielen.

Aus den bisherigen Erfahrungen ist nicht mit einiger Sicherheit zu entnehmen, ob in Pflanzensäften Wasserstoffsuperoxyd, Ozon, nascirender Sauerstoff oder irgend eine Sauerstoffverbindung die nächsten Ursachen der Reactionen sind[2]). Ozon, welches Schönbein annahm, ist ebensowenig direct als Ursache erwiesen, als Wasserstoffsuperoxyd, welches Wurster (l. c.) für wahrscheinlicher hält[3]). Uebrigens könnten auch Sauerstoffüberträger in dem Sinne wie Platinmohr activirend wirken und einzelne Reagentien dürften unter Wechselwirkung mit bestimmten Stoffen und ohne dass in dem S. 440 behandelten Sinne von einer Activirung des Sauerstoffs die Rede sein kann, Oxydationswirkungen anzeigen[4]). Möglich dass letzteres mit den Wurster'schen Reagentien zutreffen kann, welche übrigens auch schon beim Stehen der Lösungen oder des nassen Papieres an der Luft sich färben.

Ungleichwerthige Reagentien dürften indess in manchen Fällen eine gewisse Unterscheidung der activirten Sauerstoffformen bei näherem Studium erlauben. Speciell in den Pflanzensäften kann die Reaction nicht durch Wasserstoffsuperoxyd veranlasst sein, wenn, wie

---

1) Vgl. u. a. Schönbein, Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 223; Wurster, Ber. d. chem. Gesellschaft 1886, Bd. 19, p. 3199. Sehr auffällig ist z. B. die Einleitung der Oxydationswirkung durch Licht in einem Gemisch aus Oxalsäure und Eisenchlorid, indem erst mit Beleuchtung die Entwickelung von Kohlensäure beginnt.

2) Vgl. auch Baumann, Zeitschrift f. physiol. Chemie 1881, Bd. 5, p. 245.

3) Gegen Nitrite als Ursache der Reactionen erklärte sich späterhin schon Schönbein (p. 206). Auch Versuche von Wurster (l. c.) und Molisch (Sitzungsb. d. Wiener Akad. 1887, Bd. 95, p. 232) entschieden gegen Nitrite.

4) Relative Empfindlichkeit eines Reagens kann natürlich nur durch Vergleich verschiedener Concentrationen eines Stoffes bemessen werden, nicht aber, wie es in den hier behandelten Reactionen wohl geschah, nach dem Ausbleiben eines Erfolges gegen eine beliebige Lösung, die vielleicht auf das andere Reagens aus qualitativ anderen Ursachen reagirt. Vgl. über Empfindlichkeiten der Reactionen auf activirten Sauerstoff Schönbein, Journ. f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 219; Bokorny, Ber. d. chem. Ges. 1888, Bd. 21, p. 1102.

Schönbein[1]) angiebt, ein kleiner Zusatz dieses Körpers die Bläuungsfähigkeit von Guajac und Jodkalistärke aufhebt.

Weiter kann wohl auch diosmotische Trennung zur näheren Charakterisirung der Qualität des activirten Sauerstoffs angewandt werden, denn es ist klar, dass nur beständige Formen dieses letzteren in Pflanzenzellen ihren Weg finden können. In einem Versuch zeigten die Wurzelhaare von Trianea bogotensis und die Wurzel von Faba keine Oxydationsfärbung an, als sie in den durch Zerstampfen unter Zusatz von Wasser und Auspressen gewonnenen Saft von Taraxacum kamen, welcher Jodkalistärkepapier sehr stark bläute[2]). Ein gleiches negatives Resultat erhielt ich, als besagte Wurzeln nach Bestreuen mit etwas Platinmohr z. Th. im angefeuchteten Zustand in dampfgesättigter Luft, z. Th. in 0,2 proc. Lösung von Natriumbicarbonat gehalten wurden. Indess möchte ich auf diese beiläufigen Versuche keinen besonderen Werth gelegt wissen, und ich führe sie hier nur an, um ein methodisches Princip zu kennzeichnen, das z. B. Wasserstoffsuperoxyd und nascirenden Sauerstoff zu unterscheiden gestattet. Statt der physiologischen Reagentien, die in vielen Fällen nicht anwendbar sind, würde man zweifellos auch künstliche Zellen aus Niederschlagsmembranen verwenden können, welche ein geeignetes Reagens einschliessen und für die auf activirten Sauerstoff zu prüfenden Stoffe undurchlässig sein müssten. Aus Calciumphosphat, Zinksilicat u. s. w. dürften wohl geeignete Zellen zu erhalten sein, und Indigolösung mit Eisenzusatz oder Cyanin könnten z. B. als einzufüllende Reagentien dienen.

Jedenfalls vermögen also Pflanzensäfte, gleichviel in welcher Weise, gewisse Eingriffe des passiven Sauerstoffs zu veranlassen und es ist naturgemäss zu entscheiden, ob nicht etwa in gegebenen Fällen durch Secrete lebendiger Zellen extracellulare Oxydationen erzielt werden. Mit der experimentellen Verneinung sind natürlich ebenso

---

1) Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 201; Zeitschrift f. Biologie 1868, Bd. IV, p. 368.

2) Ebenso bringen die an den Schnittflächen zusammentretenden Säfte verletzter Zellen keine Oxydationswirkungen auf die lebend gebliebenen Nachbarzellen hervor.

auf andere Weise entstandene extracellulare Oxydationen ausgeschlossen, die z. B. durch irgend welche Wechselwirkungen an der Aussenfläche des Protoplasmakörpers oder durch irgend welche Bewegungszustände zu Stande kommen könnten, welche die thätige Zelle in ihrer Umgebung veranlasst. Ein durch solche Ursachen veranlasster Sauerstoffeingriff wäre ebenso gut denkbar, wie eine extracellulare Sauerstoffentziehung, welche thatsächlich, wie die Reduction von nicht eindringenden Farbstoffen (Indigo, Lacmus) lehrt, durch gährthätige niedere Organismen erzielt wird[1]), ohne Gährthätigkeit aber nicht zu Stande kommt. Lassen wir, wie es auch bisher geschah (p. 434), die Gährorganismen ausser Acht, so sprechen die Erfahrungen mit Penicillium glaucum dagegen, dass extracellulare Oxydationsvorgänge von Bedeutung für diesen Organismus sind, und da man bei der Lebens- und Wirkungsweise der energisch athmenden Schimmelpilze noch am ehesten an eine extracellulare Oxydation denken wird, dürfte eine solche allgemeiner der Regel nach fehlen oder doch nicht bedeutungsvoll sein.

Zu den angedeuteten Versuchen wurden Reinculturen von Penicillium glaucum auf Lösungen gehalten, die schon eine schwache Oxydationswirkung durch darin befindliche empfindliche Reagentien anzeigen mussten. Als solche dienten mit etwas Eisen versetzte Indigo- oder Methylenblaulösung, ferner, ebenfalls mit etwas Eisenzusatz, Cyanin und Jodkalistärke, endlich noch als physiologisches Reagens die Wurzel von Faba.

Ich halte mich hier zunächst an die Versuche mit Indigolösung, welchen sich die anderen Versuche hinsichtlich der Methode anschliessen. In diesen Versuchen erwuchs der Pilz entweder auf den farbstoffhaltigen Lösungen oder das gelöste Reagens kam erst hinzu, nachdem die Nährlösung durch Auswaschen von dem entstandenen Penicilliumrasen entfernt worden war.

Zur Cultur diente 2- bis 3 proc. angesäuerte Lösung von Traubenzucker, der wenig, insgesammt etwa 0,05%, von anorganischen Salzen zugesetzt war. Sollte das Reagens von Anfang an zugegen sein, so wurde 0,02% Eisenlactat zugegeben und durch 0,005 bis 0,002% Indigcarmin schwach blau gefärbt. Eine thunlichst starke

1) Vgl. Pfeffer, Physiologie Bd. I, p. 367.

Ansäuerung durch Salzsäure war geboten, um dauernd genügend Eisen in Lösung zu halten. Denn nur bei Gegenwart von ein wenig Eisen wird Indigo schon durch Wasserstoffsuperoxyd sofort oxydirt und es war deshalb zur Controle nöthig, solche Oxydationsfähigkeit in der während der Cultur nicht entfärbten Lösung nachzuweisen. Von solcher Flüssigkeit kamen 10 bis 12 ccm in grössere Kochflaschen, deren Boden dadurch mit einer 0,4 bis 0,6 cm hohen Flüssigkeitsschicht bedeckt wurde. Nach dem Sterilisiren wurde dann mit üblichen Vorsichtsmaassregeln die Reinaussaat einer grösseren Zahl Sporen von Penicillium glaucum vorgenommen und die Cultur unter Watteverschluss im Dunkeln eingeleitet. Bei 19—24° C. war in 4 bis 5 Tagen eine dünne Decke des Pilzes entstanden, dessen reich verzweigte Mycelfäden in die Flüssigkeit tauchten.

In solcher Cultur zeigte sich in 4 Versuchen die Nährlösung, im Vergleich zu der daneben, aber sterilisirt erhaltenen Controlflüssigkeit, entweder gar nicht oder nur wenig abgeblasst. Dagegen war nach weiteren 2 bis 4 Tagen die blaue Färbung der Culturflüssigkeit gewöhnlich sehr gemindert und in anderen Versuchen hatte die Flüssigkeit eine gelbliche Färbung angenommen.

Ein entsprechendes Resultat ergaben auch 3 Versuche, in welchen unter dem ohne Farbstoff cultivirten Penicillium nach 3 bis 4 Tagen die Nahrlösung durch Wasser ersetzt wurde. Solches gelingt durch geeignetes langsames Abgiessen und 2 bis 3 malige Wiederholung der Procedur nach zuvorigem Hinzufügen von Wasser leicht, sobald der Pilz eine wenn auch nur locker zusammenhängende Decke gebildet hat. Darauf kam die nährstofffreie eisenhaltige Indigolösung hinzu, für welche, bei Mangel von Phosphaten, jetzt eine schwache Ansäuerung genügte. Während 24 bis 48 Stunden hielt sich, bei 19—24° C., die Farbe der Lösung unverändert, dann aber begann die Lösung allmählich abzublassen und war nach 4 bis 5 Tagen in der schon beschriebenen Weise entfärbt.

Es sei hier noch bemerkt, dass die benutzte Indigolösung sich im Dunkeln 12 Tage lang unverändert erhielt, am Licht aber in 1 bis 3 Tagen entfärbt wurde. Vermuthlich entsteht dabei durch Oxydation, welche concentrirteres Eisenchlorid schnell herbeiführt, Isatin[1]). Eine

1) Beilstein, Organische Chemie 1888, II. Aufl., Bd. 2, p. 1046.

Reduction zu Indigweiss, welche übrigens nur gährthätige Pilze auszuführen vermögen, war in diesen Versuchen ausgeschlossen. Auch sei noch bemerkt, dass Bacterienmangel in allen diesen und folgenden Versuchen festgestellt wurde. Übrigens war die Entwickelung von Bacterien der starken Ansäuerung halber nicht zu fürchten.

Ebenso wurden 3 Versuche angestellt, in welchen an Stelle des Indigos 0,0002% Methylenblau trat. Trotz dieser Verdünnung des Farbstoffs wurde die Entwickelung merklich gehemmt, denn in 6 bis 7 Tagen war erst eine Pilzdecke entstanden, wie sie bei dem unschädlichen Indigozusatz in 4 bis 5 Tagen sich einstellt[1]). Auch nach 7 bis 8 Tagen, von der Aussaat ab gerechnet, war eine merkliche Entfärbung des Methylenblau in der Nährflüssigkeit nicht zu constatiren. Dabei wurde diese durch etwas Wasserstoffsuperoxyd sofort durch Oxydation entfärbt.

Zu 2 Versuchen mit Cyanin dienten in je 4 Tagen auf Nährlösung erwachsene Culturen von Penicillium, die in der beschriebenen Weise auf sehr verdünnte, nur etwas bläulich erscheinende Cyaninlösung, nach Zusatz von etwas Eisenlactat, gebracht wurden. Bei Aufenthalt im Dunkeln war die Flüssigkeit nach 5 Stunden noch deutlich, nach 18 Stunden immerhin noch ein klein wenig gefärbt. Doch hatte Cyanin theilweise die Zellwände und den Inhalt einiger todten Zellen gefärbt und da auch das lebende Protoplasma etwas von diesem Farbstoff speichert, so dürfte die Abnahme der Färbung durch diese Umstände bedingt gewesen sein. Die Anwendung höherer Concentration ist aber bei der Giftigkeit des Farbstoffs unzulässig.

In gleicher Weise wurde in einem anderen Versuche, unter Verwendung einer 4 Tage alten Cultur von Penicillium, die Nährflüssigkeit durch eine sterilisirte Lösung ersetzt, welche 0,016% Jodkali, 0,01% Eisenlactat und etwas Stärkekleister enthielt und mit Citronensäure sauer gemacht war. Nach 6 und 24 Stunden war keine Spur einer Bläuung zu bemerken, welche, bei Schluss des Versuchs, auf Zusatz von ganz wenig Wasserstoffsuperoxyd sofort eintrat. Eine in solcher Weise hervorgerufene eben nur merkliche Bläuung verschwindet freilich nach einigen Stunden, woraus indess nur folgt, dass sehr geringe Activirung von unserem Reagens nicht

1) Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 222, 268.

angezeigt wird. Uebrigens schädigt besagte Lösung in keiner Weise unsern Pilz, der sich selbst auf 0,2 proc. Lösungen von Jodkali längere Zeit lebend zu erhalten vermag.

Endlich brachte ich ein Räschen von Penicillium glaucum auf eine junge angefeuchtete Keimwurzel von Faba, die nun im dampfgesättigten Raum gehalten wurde. Nach 24 Stunden hatten Pilzfäden ausgewachsene und noch wachsende Partien der Wurzel zum Theil recht schön umsponnen, in keiner der lebenden Zellen aber war eine Andeutung von Oxydationsfärbung zu entdecken.

Zur Beurtheilung der Versuche sei daran erinnert, dass Indigolösung nur bis zum Protoplasmakörper vordringt und also nur durch eine extracellulare Oxydationsthätigkeit entfärbt werden kann. Gleiches gilt für Jodkalistärke, da, so weit sich beurtheilen lässt, auch Jodkalium nicht in die lebende Zelle eindringt. Dagegen finden Cyanin und Methylenblau ihren Weg in das Innere der lebenden Zelle, doch wird das Plasma von Penicillium durch Cyanin jedenfalls nur sehr gering gefärbt und nur vereinzelte Zellen dieses Pilzes speichern Methylenblau im Zellsaft[1]). Diese Reagentien sind also sowohl extracellularen als intracellularen Oxydationswirkungen ausgesetzt und wenn nur letztere stattfände, würde, des mit der Reaction herbeigeführten Nachstroms halber, ebenso eine gänzliche Entfärbung erzielt werden. Allerdings dürfte Methylenblau wohl nur auf extracellulare Oxydationsthätigkeit reagiren, da es ohne Gegenwart von Eisensalz schwer oxydabel ist (vgl. p. 422) und letzteres vermuthlich nicht in die Zelle wandert. Während aber durch geeignete gelöste Reagentien jedwelche zureichende extracellulare Oxydationswirkung angezeigt würde, kann Faba naturgemäss immer nur bei Vordringen des wirkenden Stoffes bis zum Zellsaft reagiren und weil dieserhalb nur Wasserstoffsuperoxyd oder sich in Beständigkeit und Wirkung ähnlich verhaltende Körper eine Reaction zu erzielen vermögen, ist dieses physiologische Reagens in unserer Frage von keiner entscheidenden Bedeutung.

Die Gesammtheit obiger Erscheinungen spricht ebensowohl gegen eine extracellulare als gegen eine intracellulare allgemeine Oxydationswirkung in Penicillium. Denn eine solche hätte schnell durch die

1) Vgl. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 222.

angewandten empfindlichen Reagentien angezeigt werden müssen, auch durch die Farbstoffe, deren absolute Menge so gering war, dass selbst bei mässiger Sauerstoffübertragung sehr bald eine totale Entfärbung erzielt worden wäre. Durch Jodkalium und Methylenblau wurde aber gar keine Oxydationswirkung angezeigt und ebenso augenscheinlich nicht durch Cyanin, denn die allmähliche Farbenabnahme findet in der erwähnten Speicherung dieses Farbstoffs und in seiner unvermeidlichen allmählichen Zersetzung in Lösungen wohl die genügende Erklärung. Ebenso erhielt sich Indigo bei jugendlichen, aber schon recht ansehnlichen Culturen stets intact, und so muss die spätere Entfärbung entweder einer mit dem Alter veränderten Thätigkeit entspringen oder durch Austritt von Säften aus absterbenden Zellen, die sich mit dem Alter einstellen, veranlasst werden. Thatsächlich kann sich solche Indigolösung durch Zusatz von ausgepressten Pflanzensäften entfärben, doch habe ich nicht weiter ermittelt, ob auf diese Ursache die Entfärbung in unseren Versuchen fällt, oder ob etwa noch Ausscheidung von Stoffen aus lebenden Zellen eine Rolle mitspielt. Wie dem auch sei, jedenfalls reichen die Resultate mit schon ansehnlichen jugendlichen Culturen aus, um darzuthun, dass extracellulare Oxydation in der Athmungsthätigkeit keine wesentliche Rolle spielen kann. Es wird dieses besonders klar werden, wenn wir einen Blick auf die Intensität dieser physiologischen Verbrennung werfen.

Aus Versuchen Diakonow's[1]) entnehme ich z. B., dass mit Zucker und Pepton ernährtes Penicillium glaucum schon bei 15° C. in 1 Stunde rund 25 mg (24,8 mg), in 24 Stunden also 600 mg Kohlensäure producirte, eine Menge, die eine totale Verbrennung von 409 mg Glycose erfordert. Diese Cultur wog getrocknet 0,878 g und es würde sich bei 90 % Wassergehalt für dieses Penicillium ein Frischgewicht von 8,78 g berechnen[2]). Die in 24 Stunden ausgegebene Kohlensäure beträgt also dann 68,3 % des Trockengewichts und 6,83 % des Frischgewichts.

Ein ausgewachsener Mensch giebt im Durchschnitt etwas weniger

1) Bericht. d. chem. Gesellschaft 1886, Bd. 4, p. 3.

2) Champignon enthält 93, Morchel 91 % Wasser. Ebermayer, Physiol. Chemie d. Pflanzen 1882, Bd. I, p. 27.

als 900 g Kohlensäure in 24 Stunden ab und wenn wir dessen Gewicht zu 75 kg annehmen, berechnet sich diese Kohlensäureproduction auf 1,2% des Lebensgewichts[1]), beträgt also relativ nicht einmal 1/3 der von Penicillium erzeugten Menge. In höheren Pflanzen ist freilich die Athmungsenergie gewöhnlich geringer, erreicht indess in kräftig athmenden Organen nicht selten sogar relativ höhere Werthe als im Menschen. Zur Veranschaulichung greife ich hier nur einen Versuch Johannsen's[2]) heraus, in welchem 57 g frische Erbsenkeimlinge bei 21° C. in 1/2 Stunde 11 mg, in 24 Stunden also 528 mg, d. h. 0,93% des Frischgewichts an Kohlensäure lieferten. Durch den grossen Vorrath von Reservestoffen in diesen jungen Keimlingen wird aber dieser Procentwerth für Kohlensäure natürlich herabgedrückt und dennoch würde dieser bei der ansehnlichen Steigerung der Athmung mit der Temperatur den des Menschen erreichen und selbst überschreiten können. Wie energisch aber die Athmungsoxydation in dem thätigen Protoplasmakörper selbst ist, ergiebt sich leicht aus der Erwägung, dass dieser zumeist nur einen Bruchtheil der ganzen Zelle ausmacht (vgl. p. 432).

Fände diese so ausgiebige Kohlensäureproduction durch Penicillium extracellular statt, so müssten ausserhalb der Zelle ungemein energische Oxydationswirkungen thätig sein, welche unsere so empfindlichen Reagentien schnell anzeigen würden. Denn unsere 4 bis 5 Tage alten Penicilliumculturen hatten ein Frischgewicht von 1—2 g und schon bei 1 g Frischgewicht wäre bei der oben mitgetheilten Athmungsenergie in 24 Stunden die Entstehung von 68 mg Kohlensäure, entsprechend der Verbrennung von 43 mg Glycose, zu erwarten. In den 10 g Reagensflüssigkeit unserer Versuche befanden sich aber höchstens 0,5 mg Indigocarmin, ja sogar nur 0,02 mg Methylenblau und ähnlich wird wohl auch die Cyaninmenge gewesen sein. Diese geringen Mengen würden also selbst bei viel geringerer Oxydationswirkung schnell verschwinden müssen. Abgesehen davon, dass Indigo, Cyanin und Jodkalistärke gleiches Resultat nach Ent-

1) Ich verweise auf die inzwischen erschienene Abhandlung von Mc Kendrick in Biol. Centralblatt 1889, Bd. 8, p. 667. Aus dieser ist auch zu ersehen, wie die Athmungsthätigkeit in Vögeln viel ansehnlicher ist als im Menschen. Für diesen sind die im Text angeführten Werthe etwas zu hoch gegriffen.

2) Unters. a. d. botan. Institut in Tübingen Bd. I, p. 695.

fernung der Nährlösung ergaben, würden doch unsere Reagentien, und nicht die relativ so schwer oxydable Glycose, den Sauerstoff zunächst an sich reissen, wenn irgendwie ausserhalb der Zelle activirter Sauerstoff oder überhaupt eine gegen alle Körper gerichtete Oxydationswirkung stattfände.

Nach den Erfahrungen mit unseren Reagentien kann also das Fehlen einer irgend erheblichen allgemeinen extracellularen Oxydationswirkung für jugendliche Culturen von Penicillium als erwiesen angesehen werden und so ist auch nicht anzunehmen, dass etwa ausser Glycose andere Stoffe, wie Oxalsäure, Ameisensäure, Essigsäure u. s. w. extracellular verbrannt werden, da diese doch sämmtlich ungleich schwieriger oxydabel sind. Demgemäss vollzieht sich die physiologische Verbrennung auch bei Penicillium, wie bei anderen Pflanzen, innerhalb der lebendigen Zelle und in dieser fehlt auch bei Penicillium activirter Sauerstoff. Denn bei dessen Production im Protoplasma oder im Zellsaft wäre Cyanin in den mitgetheilten Versuchen entfärbt worden, während diese Versuche gegen eine Oxydation dieses Farbstoffs sprechen. Noch entscheidender wäre die Beobachtung des Cyanins im Protoplasma, das leider diesen Farbstoff zu schwach speichert, um ein gutes Versuchsobject, wie die Wurzelhaare von Trianea, abzugeben. Immerhin schien es mir, dass die ganz schwache Färbung durch Cyanin, welche das Protoplasma vereinzelter Mycelzellen etwas deutlicher annahm, sich während 12 Stunden erhielt.

Während also die eigentlichen physiologischen Oxydationsvorgänge jedenfalls in das Innere der Zelle zu verlegen sind, soll damit die Möglichkeit gewisser extracellularer Oxydationen nicht ausgeschlossen sein. Durch die Säfte absterbender Zellen, und in concreten Fällen wohl auch durch Secrete lebender Zellen, kommen gewisse extracellulare Activirungen sicher vor und es ist möglich, dass diese bei bestimmten Organismen höhere Bedeutung erlangen. Unsere negativen Resultate mit Penicillium schliessen ebenfalls nicht aus, dass selbst dieser Pilz unter bestimmten Bedingungen extracellulare Sauerstoffactivirung erzielt, und eine solche, die freilich wahrscheinlichst durch Absterben von Zellen erreicht wurde, zeigte Indigo für älter werdende Culturen an. Eine positive Reaction mit empfindlichen Reagentien lässt aber immer zunächst im Zweifel, ob eine solche schwache Activirung Bedeutung für den Organismus hat

und ob damit tiefer eingreifende Oxydationen erreichbar sind. Freilich darf man auch hier nicht vergessen, dass durch Continuität der jeweils nur schwachen Wirkung dennoch mit der Zeit ansehnliche Erfolge erreicht werden könnten, und für die Gährorganismen haben, wie schon hervorgehoben wurde, erst specielle Untersuchungen zu entscheiden, ob und in wie weit extracellulare Oxydationen stattfinden.

Die obigen Erwägungen gelten auch für die Erfahrungen von Molisch[1]), nach denen aus Wurzeln Stoffe austreten, welche Guajactinctur ähnlich bläuen, wie es vielfach Pflanzensäfte thun. Der sichere Nachweis, dass es sich hierbei, wie es wohl möglich ist, um Secrete lebender Zellen handelt, fehlt, und es ist immerhin zu bedenken, dass an Wurzeln verschiedene Zellen der Peripherie frühzeitig absterben. Für die Oxydationsbedeutung aber dieser austretenden Stoffe mangeln massgebende Argumente, denn bezüglich der angeführten Aetzfiguren auf einer Elfenbeinplatte bleibt es fraglich, was Säuren oder was andere Ursachen bewirkten.

Zu den extracellularen Sauerstoffactivirungen gehört auch die Entstehung des Ozons, oder vielleicht einer ähnlich reagirenden Sauerstoffverbindung, die, und besonders bei Beleuchtung, um Pflanzen augenscheinlich stattfindet, obgleich wirklich kritische Untersuchungen über diese Frage und besonders über die Causalität dieser Production fehlen[2]). Indess kann man sich über solche Entstehung nicht gerade wundern, da bekanntlich bei der Oxydation ätherischer Oele und anderer Stoffe, nach Gorup-Besanez auch bei hoch gesteigerter Wasserverdampfung, etwas Ozon aus passivem Sauerstoff sich bildet. Und möglicherweise hat auch diese Ozonbildung irgend eine Bedeutung für die Pflanze oder für den Naturhaushalt.

Dagegen ist der bei der Kohlensäurezersetzung im Licht entstehende Sauerstoff nicht activirt. Denn käme er activirt in den Zellsaft, so müsste in den chlorophyllführenden Zellen des Blattes und Stengels von Faba, des Blattes von Hydrocharis, der Wurzelepi-

---

1) Sitzungsb. d. Wiener Akad. 1887, Bd. 96, Abth. 1, p. 86.

2) Ozonbildung durch Pflanzen in der umgebenden Luft geben an: Scoutetten, Compt. rendus 1856, Bd. 42, p. 941; Kosmann, Annal. d. scienc. naturell. 1862, sér. IV, Bd. 18, p. 111; Poey, Compt. rend. 1863, Bd. 57, p. 344; Jamieson, Chem. Centralblatt 1879, p. 519; Anders u. Miller, Botan. Jahresb. 1886, p. 86. Negative Resultate berichtet Cloez, Compt. rend. 1856, Bd. 43, p. 762.

dermis von Trianea, der Kelchzipfel von Phlox u. a. Färbung, resp. Entfärbung entstehen, während thatsächlich der Zellsaft zeitlebens keine Spur einer solchen Oxydationswirkung anzeigt. Dem entsprechend bleiben auch die reactionsfähigen chlorophyllfreien Zellen, welche chlorophyllführenden Zellen benachbart sind, frei von Oxydationswirkungen, wie sie Wasserstoffsuperoxyd und überhaupt activirter Sauerstoff erzielt[1]). Ein gleiches Resultat ergab sich auch, als eine behaarte kleine Wurzel von Trianea zwischen die in Wasser sehr dicht gehäuften Spirogyrafäden kam, welche während 6 Stunden sehr stark Sauerstoff entwickelten.

Weiter wurden auch noch Versuche gemacht, in welchen gelöste Reagentien bis an die Aussenfläche des Protoplasmakörpers vordrangen. Zu dem Zwecke kam eine dickfädige Spirogyra in eine mit Citronensäure ganz schwach angesäuerte Lösung, welche entweder neben etwas Stärkekleister 0,02 % Jodkali und 0,01 % Eisenlactat oder in anderen Experimenten 0,005 % Indigocarmin mit 0,01 % Eisenlactat enthielt. Die Zuführung der Reagentien geschah erst, nachdem durch Abwaschen mit Wasser der Inhalt der etwa beim Uebertragen getödteten Zellen entfernt war. Dann wurde dafür gesorgt, dass in dem etwas weiten Reagensrohr die Flüssigkeit nur 2—3 cm hoch stand und dicht mit Spirogyrafäden durchsäet war. Auch wurde zeitweise etwas Kohlensäure in die Flüssigkeit geleitet, um für reichliche Zufuhr dieses Gases zu sorgen.

Während sechsstündiger Beleuchtung mit etwas gedämpftem Sonnenlicht ging eine sehr energische Sauerstoffentwickelung von statten, aber es blieb jede Spur einer Bläuung in Jodkalistärke aus. Ebenso war die Indigolösung in dieser Zeit nur ganz wenig und, was entscheidend, nicht mehr abgeblasst[2]), als die in gleicher Weise behandelte pflanzenfreie Controllösung. Enthielte aber der so massenhaft austretende Sauerstoff auch nur etwas activirten Sauerstoff, so hätte in beiden Versuchen sehr schnell eine starke positive Reaction eintreten müssen. Bemerkt sei noch, dass Spirogyra auch nach 24stündigem Verweilen in obigen Reagentien vollständig lebend und lebensthätig war.

---

1) Ueber die Thatsachen vgl. diese Abhandlung p. 396 ff.

2) Vgl. über die Wirkung der Beleuchtung diese Abhandlung p. 472.

Aus diesen Versuchen folgt nur bestimmt, dass der producirte Sauerstoff beim Uebergang vom Protoplasma in den Zellsaft und nach aussen nicht activirt ist. Ob ihm solche Eigenschaft bei seiner Entstehung im Chlorophyllkorn zukommt, ist nicht gerade wahrscheinlich, doch liegen in dieser Hinsicht keine empirischen Beweise vor. Solche würden auch wohl nur durch Reagentien erzielbar sein, welche sich natürlich im Chlorophyllkorn finden oder künstlich in dieses eingeführt wurden. Bei der Oxydationswirkung der Beleuchtung auf Cyanin ist dieser Farbstoff in diesem Falle nicht geeignet. Natürlich lassen unsere Versuche auch unentschieden, ob molekularer Sauerstoff oder irgend eine Sauerstoffverbindung das Protoplasma verlässt, nur kann dann beim Zerfall letzterer keine Activirung eintreten[1]).

XI. Die Sauerstoffathmung.

Mit Absicht wurden bisher die Versuchsresultate und die sich zunächst daraus ergebenden Folgerungen behandelt, um auf Grund dieser nunmehr dem hochwichtigen physiologischen Verbrennungsprocess, der Athmung, näher zu treten. Erst vor wenigen Jahren[2]) hatte ich Veranlassung, die Causalität dieses Vorganges zu behandeln, und wenn auch heute eine lückenlose Einsicht in diesen Oxydationsvorgang noch nicht erreicht wurde, so ist doch wenigstens eine wesentliche Präcisirung der zur Athmung führenden allgemeinen Bedingungen möglich. Damit wird aber in den allgemeinsten Erwägungen nichts geändert, welche ich in der früheren Publication darzulegen hatte, doch ist es wohl geboten, auf diese hier so weit

1) In jüngerer Zeit hat Pringsheim (Sitzungsb. d. Berl. Akad. 1887, Bd. 38, p. 772) die Annahme gemacht, der in der Kohlensäurezersetzung entstehende Sauerstoff wandere in Form einer Verbindung durch den Protoplasmakörper, die erst ausserhalb der Zelle zerfalle. Aus den bis dahin mitgetheilten Thatsachen vermag ich einen genügenden Beweis für diesen Schluss nicht zu entnehmen. Für die Oxydationsvorgänge kommt übrigens diese Frage nicht wesentlich in Betracht, da diese von der Chlorophyllfunction unabhängig sind und die Existenz von verathembarem Sauerstoff in der Zelle direct erwiesen wurde.

2) Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen (1885), Bd. I, p. 673.

zurückzukommen, als es zum Verständniss der Schlussfolgerungen und für eine zusammenhängende Darstellung nothwendig ist. Naturgemäss findet nur dasjenige Berücksichtigung, was für die Modalitäten und Ursachen des Oxydationsvorganges von Bedeutung ist, und es liegt hier weder in meiner Absicht, Wesen und Bedeutung der Athmung allseitig zu beleuchten, noch auch eingehend verschiedene Theorien zu schildern, deren Andeutung dem Principe nach für uns genügend ist. Unterlassen will ich nicht, nochmals zu betonen, dass die Sachlage nur zulässt, die Bedingungen enger zu umgrenzen, welche in der Athmung den Eingriff des passiven Sauerstoffs herbeiführen, eine vollständige Detaillirung des Processes, oder richtiger wohl der Kette von Processen in der physiologischen Verbrennung dagegen noch nicht möglich ist. Unter solchen Umständen würde man aber den inductiven Boden verlassen und dem ferneren Fortschritt in unserer Frage hinderlich sein, wenn man durch eine weitergehende Theorie die Athmungsoxydation an einen ganz bestimmten der möglichen näheren Processe ketten wollte.

»Die Athmung ist eine Function des lebendigen Organismus, welche zum Unterhalt der normalen Lebensthätigkeit unerlässlich ist, und mit Rücksicht auf diese Wechselbeziehungen ein analoges Verhältniss bietet, wie die brennende Kerze, in welcher durch die Verbrennung und ihre Leistungen zugleich die Bedingungen für die fernere Fortdauer der Verbrennung geschaffen werden. Unzweifelhaft spielt sich im Innern des Protoplasmaorganismus selbst der nothwendige, Betriebskraft für das Leben liefernde Athmungsprocess ab, welcher, weil von der Lebensthätigkeit abhängig, sogleich mit dem Tode stille steht.«

»Der oxydirende Eingriff des molekularen Sauerstoffs wird also durch die im lebendigen Organismus gebotenen Bedingungen verursacht und regulirt; in den im lebendigen Organismus gebotenen Dispositionen, nicht in dem Sauerstoff liegt die primäre Ursache der Athmung. Dieses ergiebt sich als logische Folgerung, welcher Art immerhin die den Eingriff des Sauerstoffs veranlassenden Ursachen sein mögen, und, ohne bestimmte Voraussetzungen hinsichlich dieser, darf man wohl von den in dem lebenden Organismus entwickelten Sauerstoffaffinitäten als den die Athmung veranlassenden und regulirenden Ursachen reden. Diese Sauerstoffaffinitäten müssen in jedem

Augenblick in nur begrenzter Menge geboten sein, aber fortdauernd entwickelt werden, denn nur so erklärt sich, dass die Ausgiebigkeit der Athmung in weiten Grenzen von der Partiärpressung unabhängig ist, mit der doch die in die Zelle eindringende Menge Sauerstoff steigt und fällt.«

Ich habe hier früher[1]) ausgesprochene Worte wiederholt, mit denen auch heute einige allgemeinste Beziehungen der Athmung ausgesprochen sind. Da doch schon in diesen Worten die Aufforderung liegt, die den Sauerstoffeingriff bedingenden Ursachen näher aufzuklären, ist es mir um so unverständlicher, wie Reinke[2]) diese Sätze als Zeichen einer verderblichen vitalistischen Auffassung citirt, als denselben die Darlegung der möglichen Oxydationsursachen in der Athmung in derselben Abhandlung folgt. Denn gesetzt, es gelänge, die Ursache des Sauerstoffeingriffs auf einen autoxydablen Körper zurückzuführen — wie es Reinke ohne irgend massgebende Gründe annimmt, wie es übrigens auch als Möglichkeit von mir früher discutirt wurde —, so kann doch nur mangelnde Ueberlegung den Athmungsprocess damit den Thätigkeiten des lebendigen Organismus entrückt sehen. Denn die Aufgabe des Organismus wäre es dann immer noch, das autoxydable Material zu schaffen, ohne welches die physiologische Verbrennung ebenso wenig fortdauern kann, wie das Feuer im Ofen, dem nicht neues Brennmaterial zugeführt wird. Und dem Principe nach würde diese, wie jede in den obigen Rahmen passende Aufhellung, immer nur eine weitere Zergliederung complexer Grössen sein, die wir so oft genöthigt sind, zunächst in unsere Betrachtungen einzuführen[3]).

Eine Anhäufung von Stoffen, welche dem neutralen Sauerstoff sofort anheimfallen, kann aber in der Zelle nicht bestehen, in der nachweislich freier passiver Sauerstoff und sogar Wasserstoffsuperoxyd existenzfähig ist. Nicht von solchem für sich allein autoxydablen Material kann es demnach herrühren, wenn nach dem Tode noch Oxydationsvorgänge fortdauern und, wie nachgewiesen, können sich postmortale Oxydationsprocesse einstellen, die während des Lebens,

1) L. c., p. 673.

2) Bericht. d. chem. Gesellschaft 1887, p. 217.

3) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 2.

also vor der Mischung der räumlichen getrennten Stoffe, nicht zu Stande kamen. Es wäre also an sich nichts Auffälliges, wenn in solchen postmortalen Sauerstoffeingriffen Kohlensäure entstände und jedenfalls würde die Thatsache solcher Production nicht ohne weiteres zu dem Schlusse berechtigen, dass diese und die in der Athmung während des Lebens gebildete Kohlensäure gleichen Processen entspringen. Und nicht nur mit dem Schlusse auf solche materielle Uebereinstimmung begeht Reinke einen Fehler, sondern auch in der Annahme, dass reichliche Kohlensäureproduction nach dem Tode eine allgemeine Eigenschaft der Pflanzen sei. Die Beweise, dass dem nicht so ist, sollen im nächsten Capitel gebracht werden. Mit dem, wenigstens für concrete Fälle, negativen Befunde aber haben wir auf eine postmortale Kohlensäureproduction überhaupt keine Rücksicht während der Betrachtungen über Athmung in dem lebendigen Organismus zu nehmen.

Wohl möglich ist, dass gleichzeitig einige der Qualität und der Bedeutung für den Organismus nach verschiedene Oxydationsprocesse, sogar in einer einzelnen Zelle, sich abspielen. Es muss deshalb auch fraglich bleiben, ob alle die mit Sauerstoffeingriff, resp. mit Kohlensäureproduction verknüpften Processe der Athmung zuzugesellen sind, wenn man sich dahin einigt, unter dieser die speciell für die allgemeine Betriebsthätigkeit des Organismus unentbehrlichen Oxydationsprocesse zu verstehen[1]). Da indess zur Zeit sogar der Nachweis, geschweige denn die functionelle Trennung solcher möglichen verschiedenen Processe nicht gelungen ist, so muss man bis auf weiteres Kohlensäureproduction und Sauerstoffconsum als Maassstab für die Athmungsthätigkeit nehmen.

In Erwägung des Gesagten könnten also recht wohl auch im Zellsaft lebendiger Organismen, und auch extracellular Oxydationsprocesse von Statten gehen; die wesentliche, wenn nicht die ausschliessliche Athmungsthätigkeit ist indess im Protoplasmakörper selbst zu suchen. Denn in diesem spielen sich ja vitale Functionen ab, welche, wie z. B. die Protoplasmabewegungen, mit der Sauerstoffentziehung sogleich stille stehen, und ferner athmen auch zellsaft-

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 356; Unters. a. d. botan. Institut in Tübingen I, p. 675 Anmerkung.

freie Zellen, ja in Jugendzuständen, in welchen in manchen Zellen Vacuolenflüssigkeit nicht oder in minimaler Menge vorhanden ist, scheint die Athmungsthätigkeit ihre höchsten Werthe zu erreichen.

Die Unentbehrlichkeit der Athmung für die Lebensthätigkeit folgt aus wohlbekannten Erfahrungen und der Bedeutung der Athmung geschieht damit kein Abbruch, dass einzelne Functionen ohne Eingriff des Sauerstoffs möglich sind und dass bestimmt niedere Organismen des freien Sauerstoffs entbehren können, ein Factum, das freilich für Aufhellung und Bedeutung des Athmungsprocesses im höchsten Grade zu beachten ist. Auch bleibt solche Erfahrung unverrückt, gleichviel ob mit mechanischen Maasse gemessen, die Athmung einen erheblichen oder minimalen Theil der Arbeitskraft im Organismus liefert, ob sie nur auslösend oder direct treibend eingreift, ob sie in vielen oder nur einzelnen, dann aber erfahrungsgemäss für die Gesammtthätigkeit unerlässlichen Vorgängen mitzuwirken hat, oder wie immer die Verhältnisse zwischen Athmung und Thätigkeit im Organismus in Wirklichkeit liegen mögen[1]). Die Aufhellung dieser und ähnlicher Fragen ist aber von ganz besonderer Bedeutung und es ist wohl sicher vorauszusagen, dass schon mit einem partiellen Eindringen ganz hervorragende und vielleicht ungeahnte Einblicke in das Lebensgetriebe gewonnen werden. So viel indess vermochte ich schon früher auszusprechen, dass jedenfalls die Hauptsumme der Arbeitskraft in der Pflanze nicht aus der physiologischen Verbrennung entspringt und dass demgemäss, z. B. mit Rücksicht auf die so hervorragenden, von löslichen Stoffen abhängigen osmotischen Leistungen, nicht schlechthin die Verbrennungswärme und die alleinige Beachtung der Anfangs- und Endproducte, sondern auch die Qualität der Umwandlungen für die Leistungsfähigkeit eines Stoffes in der Pflanze von wesentlichster Bedeutung ist. So ist es auch wohl möglich, dass die mit der Athmung actuell werdende Energie fast ganz in Wärmebewegung zur Erscheinung kommt, wie es thatsächlich nach den verdienstvollen Untersuchungen Rodewald's[2]) der Fall zu sein

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 378; Bd. II, p. 1. Auch Landwirthsch. Jahrbücher 1878, Bd. 7, p. 834.

2) Jahrb. f. wiss. Botanik 1888, Bd. 19, p. 221; 1886, Bd. 17, p. 338. — Vgl. auch Wilsing, Bot. Jahresb. 1886, I, p. 77 und Bonnier, Compt. rend. 1886, Bd. 102, p. 448.

scheint. Auch dürften der ganzen Sachlage nach wohl ähnliche Verhältnisse im Thierorganismus obwalten, in welchem mit der Wärmeregulation sich für die Athmung theilweise etwas neue Gesichtspunkte eröffnen.

Mit der Realität der Athmung ist es selbstverständlich, dass immer nur ein je nach Entwickelungsstadien und anderen Verhältnissen veränderlicher Theil der eingeführten organischen Nahrung zum materiellen Aufbau des Organismus dienstbar gemacht werden kann[1]). Schon mit Rücksicht auf die Nothwendigkeit des Verbrennungsmateriales steht die Athmung in einer directen Abhängigkeit von Quantität und Qualität der zugeführten Nahrung. Da von letzterer aber auch Wachsthum und Gesammtthätigkeit abhängig sind, so hat die Nahrungszufuhr natürlich auch einen indirecten Einfluss auf die Athmung, denn diese wird in erster Linie von der Existenz und den Fähigkeiten des lebendigen Organismus bestimmt.

Mag nun die physiologische Verbrennung wie immer zu Stande kommen, in jedem Falle muss durch bestimmte Dispositionen im lebendigen Protoplasma erreicht werden, dass der passive Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur oxydirend eingreift und, was damit eng verknüpft ist, dass die Ausgiebigkeit der Athmung in jedem Augenblicke durch diese Dispositionen bestimmt ist und demgemäss die Fortdauer letzterer die nothwendige Bedingung für Unterhaltung der Athmung ist. Ohne irgend eine Vorstellung über diese Dispositionen und die näheren Modalitäten des Oxydationsprocesses kann man deshalb, wie ich es auch früher that, von den in dem Organismus entwickelten Sauerstoffaffinitäten als den Ursachen und den Regulatoren des physiologischen Verbrennungsprocesses sprechen.

Die soeben ausgesprochenen Sätze sind mit dem Vorhandensein des passiven Sauerstoffs unzweifelhaft sicher gestellt und für dessen Existenz in der Zelle sind unwiderlegliche Beweise mitgetheilt worden (p. 449). Selbstverständlich ist damit die Anhäufung von Material ausgeschlossen, das sofort den Sauerstoff an sich reisst. Demgemäss kann nur die fortdauernde Entwickelung von Sauerstoffaffinitäten die Ursache der Athmung sein und, unter normalen Verhältnissen, werden diese sogleich ihre volle Sättigung durch den

1) Pfeffer, Pflanzenphysiol. Bd. I, p. 267.

überschüssig vorhandenen neutralen Sauerstoff finden. Auch wenn wirklich, was schon früher (p. 451) als möglich angedeutet wurde, der passive Sauerstoff sich in der Zelle in irgend einer lockeren Bindung, etwa analog wie im Blute, befinden sollte, so wird damit an obigen Schlüssen gar nichts geändert, denn es ist direct gezeigt worden, dass der passive Sauerstoff in der Zelle in einem für fremde eingedrungene Organismen verathembaren Zustand vorhanden ist. Auch fällt mit diesen Thatsachen, wie auch schon dargethan wurde (p. 409), jede Berechtigung von Reinke's Annahme, nach der die Oxydation nur in der Peripherie des Protoplasmas stattfinden soll[1]), eine Annahme, die auf der irrigen Voraussetzung basirt, dass Chromogene im Zellsaft, wie nach dem Tode der Zelle, durch passiven Sauerstoff oxydirt werden müssten.

Die Erfahrungen mit Wasserstoffsuperoxyd können nur zur Bestätigung des Gesagten dienen, denn selbst dieser activirte Sauerstoff kann im Protoplasma bestehen und vermag dieses zu durchwandern. Sollten, was nur empirisch zu erweisen, aber nicht gerade nothwendig ist, in dem Protoplasma durch Wasserstoffsuperoxyd gewisse Oxydationen eingeleitet werden, welche der passive Sauerstoff nicht zu erzielen vermag, so berührt dieses natürlich die obigen Schlüsse nicht, da in der Zelle kein activirter Sauerstoff auftritt.

Die obigen allgemeinen Schlussfolgerungen gelten auch ebensowohl, wenn die physiologische Verbrennung durch eine ganze Kette von Processen oder durch einfachere Vorgänge erreicht wird. Jedenfalls aber entspringt die Kohlensäure nicht einem von dem Sauerstoffeingriff unabhängigen Dissociationsprocess, wie es Wortmann wollte[2]), denn dagegen zeugt, wie ich früher hervorhob[3]), die mit der Ent-

1) Den bekanntlich häufig nur dünnen Wandbelag des Protoplasmas könnte vielleicht einmal eine einseitige Zweck-Anatomie in unseren Fragen zu Felde zu führen versuchen. Es sei deshalb bemerkt, dass bekanntlich die Zellen auch ganz mit Protoplasma erfüllt sein können und teleologisch betrachtet, erscheint es doch z. B. ansprechender, solche Ausbreitung des Protoplasmas unter gleichzeitiger Zunahme des Zellsaftes als ein Mittel anzusehen, mit dessen Hülfe das Protoplasma die Anpressung an die Zellhaut und seine Continuität um den Zellsaft bewahrte, ohne an Masse absolut zunehmen zu müssen.

2) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 372.

3) Unters. a. d. bot. Inst. in Tübingen Bd. I, p. 659, 674. Auch Diakonow, Bericht. d. bot. Gesellschaft 1886, Bd. 4, p. 2.

ziehung des Sauerstoffs in manchen Pflanzen und insbesondere auch in Schimmelpilzen sehr weitgehende sofortige Verminderung der ausgegebenen Kohlensäure. Immerhin bleibt dabei noch unentschieden, ob Sauerstoffeingriff und Kohlensäureproduction so einfach zusammenfallen, wie beim Verbrennen der Kerze, oder ob beide Vorgänge zwar von einander abhängig, aber in verwickelter Weise verkettet sind.

Ebenso werden diese allgemeinen Grundzüge nicht von der Frage berührt, ob bezüglich der Athmungsthätigkeit eine gewisse functionelle Arbeitstheilung oder wenigstens eine quantitative Differenz in den Theilen des Protoplasmakörpers besteht. Für die Entscheidung dieser Frage fehlt es an sicheren Anhaltspunkten, welche sich auch nicht aus unseren Erfahrungen ergaben, die indess lehrten, dass eine Oxydation von Cyanin in keinem Theile des Protoplasmas stattfindet. Die aus Versuchen mit Cyanin gezogenen Schlüsse sind also auch dann begründet, wenn die physiologische Oxydation nur in bestimmten Theilen verlaufen sollte (p. 433). Wahrscheinlich muss es übrigens dünken, dass, wie in anderen Functionen, so auch in der Athmung, gewisse Differenzen in dem Zellkern, in der Hautschicht, in den Mikrosomen und überhaupt in einzelnen Theilen des Protoplasmas bestehen und unmöglich ist es nicht, dass räumlich benachbarte Theile zur Erzielung dieser physiologischen Oxydation irgendwie zusammenwirken. Jedenfalls ist aber mit dem wahrnehmbaren Aufbau des Protoplasmas (vgl. p. 458) eine schichtenweise Trennung in Athmungsplasma, Ernährungsplasma u. s. w. unverträglich, welche von Brass[1]) angenommen wurde.

Eine weitere Präcisirung der Ursachen der Oxydation gestatten aber immerhin unsere Erfahrungen, die einmal activirten Sauerstoff jeder Art als Ursache der physiologischen Verbrennung oder als mitwirkend in dieser ausschliessen, und ferner den Beweis liefern, dass nicht einmal leicht oxydable Körper bei Durchtränkung des Protoplasmas dem passiven Sauerstoff zur Beute fallen.

Die Versuche, aus welchen sich das Fehlen von schwach oder stark activirtem Sauerstoff ergiebt, sind früher ausführlich interpretirt worden (p. 430). Mit diesem Mangel aber hat jede Theorie ihre

1) Biologische Studien 1883, Heft I, p. 17.

Berechtigung verloren, welche activirten Sauerstoff, gleichviel in welcher Weise, als Ursache der physiologischen Verbrennung in der Zelle fordert. Denn solchem activirten Sauerstoff müssten doch nothwendig die leichter oxydablen Stoffe zunächst anheimfallen und da, wie nachgewiesen, solche Stoffe, welche das im Protoplasma dem activirten Sauerstoff so leicht zugängliche Cyanin schützen könnten, nicht vorhanden sind, so ist die Nichtentfärbung dieses Reagens ein völlig sicheres Argument für das Fehlen von Wasserstoffsuperoxyd oder von stärker wirkendem activirten Sauerstoff.

Da thatsächlich directe Beweise für die Entstehung von activirtem Sauerstoff in der lebendigen Zelle nie erbracht sind, wie schon früher hervorgehoben ist, so genügt es weiterhin noch kurz auf die Hypothesen hinzuweisen, welche in dem activirten Sauerstoff die Ursache der Athmungsoxydation suchten. In allen diesen Hypothesen ist, so weit ich sehen kann, der activirte Sauerstoff immer nur als Mittel angesehen, um in dem Protoplasma vertheilte bradoxydable Stoffe zu verbrennen, und in diesem Sinne fehlen bestimmt sowohl Wasserstoffsuperoxyd als stärker wirkender activirter Sauerstoff.

Nur dann würden unsere Reagentien den activirten Sauerstoff nicht anzeigen, wenn gleichzeitig mit und neben diesem und dauernd in einem proportionalen Verhältniss Stoffe entstehen, welche noch leichter der Oxydation anheimfallen als Cyanin. Indess sprechen die empirischen Erfahrungen, wie dargethan wurde (p. 440), mit hoher Wahrscheinlichkeit gegen eine solche Annahme, zu deren Unterstützung sich überhaupt kein Grund anführen lässt. Ohnedies wäre dann die Production sehr leicht oxydabler Stoffe zu der Erzielung einer solchen Athmungsthätigkeit nothwendig, und wenn in diesem Sinne doch einmal der Stoffwechsel in Anspruch genommen wird, muss es doch einfacher dünken, dass der activirte Sauerstoff ganz entbehrlich ist, indem die fraglichen producirten Stoffe das neutrale Sauerstoffmolekül zu spalten vermögen, also autoxydabel sind.

Da unsere Reagentien jedwelche freie Entstehung von activirtem Sauerstoff anzeigen würden, so ist damit auch ausgeschlossen, dass dieser in der physiologischen Oxydation nebenbei mitwirkt, ohne die primäre Ursache dieser zu sein. Eine derartige secundäre Betheiligung des activirten Sauerstoffs ist in den Hypothesen über den

Athmungsvorgang öfters ins Auge gefasst, aber wohl wesentlich nur deshalb, weil nachweislich in manchen chemischen Oxydationsprocessen, insbesondere bei Autoxydationen, Sauerstoff activirt wird. Doch kann, wie auch schon hervorgehoben wurde (p. 444), keineswegs solche Activirung für alle Oxydationsprocesse gefordert werden und so am wenigsten für die physiologische Verbrennung, für welche wir die sich abspielenden chemischen Umlagerungen nicht näher kennen. Wenn demgemäss die secundäre Entstehung von activirtem Sauerstoff innerhalb der lebendigen Zelle empirisch widerlegt wurde, so ist damit dessen Betheiligung in extracellularen Oxydationsprocessen nicht ausgeschlossen und es ist wohl möglich, dass das Auftreten von activirtem Sauerstoff in ausgepressten Pflanzensäften u. s. w. auf solche secundäre Entstehung in Oxydationsprocessen theilweise zurückzuführen ist (vgl. Cap. 10).

Aus unseren empirischen Erfahrungen geht ganz allgemein die wichtige Thatsache hervor, dass sich relativ sehr leicht oxydable Stoffe in der lebendigen Zelle, im Zellsaft und im Protoplasma intact erhalten können. Denn im Zellsaft fallen Chromogene und Farbstoffe, im Protoplasma das imbibirte Cyanin nicht der Oxydation anheim, obgleich passiver Sauerstoff im Ueberschuss vorhanden und damit schon die Möglichkeit ausgeschlossen ist, dass diese Reagentien vor Oxydation durch Körper geschützt werden, welche dem passiven Sauerstoff leichter zugänglich sind (vgl. p. 437). Aus diesen Thatsachen folgt aber mit aller Sicherheit, dass schlechthin durch die Vertheilung eines Körpers im Protoplasma (für den Zellsaft gilt dasselbe) keine Oxydationswirkungen geschaffen werden, wie solche z. B. allgemein durch genügende Erwärmung erreichbar sind. Demgemäss kann auch die physiologische Verbrennung noch schwieriger oxydabler Stoffe, wie löslicher Kohlehydrate, organischer Säuren u. s. w., nicht durch einfache Vertheilung in dem Protoplasmakörper zu Stande kommen, vielmehr ist zur Herbeiführung der Athmungsoxydation irgend welche Wechselwirkung nothwendig, mag diese nun durch tiefer eingreifende Umsetzungen oder in irgend einer Weise erreicht werden[1]). Diese

1) Auch Wasserstoffsuperoxyd wird im Protoplasma nicht zu energischen Oxydationswirkungen befähigt. Das folgt einmal aus dessen relativer Beständigkeit und aus Versuchen (vgl. p. 424), in welchen Methylenblau durch Wasserstoffsuperoxyd

allgemeinsten Schlussfolgerungen dürfen wir aber als Regel für alle Pflanzen ansehen, denn die Thatsachen, auf welchen sie beruhen, wurden auch für einen Schimmelpilz nachgewiesen (p. 471). Uebrigens ist schon früher betont, dass gewisse Ausnahmen denkbar und solche vielleicht bei Gährorganismen geboten sind, welche wir überhaupt nicht in den Kreis unserer Untersuchungen zogen (p. 477).

Mit der Feststellung dieser Thatsachen ist aber eine viel engere und festere Abgrenzung des Rahmens erreicht, innerhalb dessen die physiologische Oxydation sich bewegen muss. Für eine bestimmte tiefere Klarlegung der näheren Vorgänge im Athmungsprocess fehlen zur Zeit die nöthigen Thatsachen, und wenn man in meiner früheren Discussion über mögliche Athmungsursachen diejenigen Erwägungen hinwegnimmt, welche auf activirten Sauerstoff als primäre Ursache oder als mitwirkenden Factor Bezug haben, sowie beachtet, dass mit der Vertheilung im Protoplasmakörper keine allgemeinen Oxydationswirkungen gegen einen Körper zu Stande kommen, so kennzeichnet das damals Gesagte auch die heutige Sachlage.

Dem Wesen der Sache nach, also ohne Rücksichtnahme auf die näheren Modalitäten des Processes oder der Processe, kann der oxydirende Eingriff des passiven Sauerstoffs erreicht werden, indem 1) autoxydable Stoffe oder Stoffgemische entstehen oder 2) indem für sich bradoxydable Stoffe unter den im Protoplasma gebotenen Verhältnissen den passiven Sauerstoff in sich hineinreissen. Das Gesammtresultat ist also auch im letzteren Falle Autoxydation, zu deren Erzielung indess irgend ein Zusammenwirken nothwendig ist, und durch irgendwie entwickelte Sauerstoffaffinitäten wird ja in jedem Falle das Eingreifen des passiven Sauerstoffs bestimmt und geregelt. Und da, wie ebenfalls schon hervorgehoben wurde, diese Sauerstoffaffinitäten, bei dem thatsächlich vorhandenen Ueberschuss an freiem Sauerstoff, ihre sofortige Befriedigung finden, müssen die den Eingriff des Sauerstoffs bedingenden Ursachen, gleichviel welcher Art sie sind, durch fortdauernde Neubildung die Continuität der Athmung erhalten.

Die angeführten Alternativen dürften übrigens nicht immer scharf

---

im Protoplasma nicht oxydirt wurde, obgleich z. B. kleine Mengen von Eisen sofortige Oxydation des Methylenblau veranlassen.

aus einander zu halten sein. Zudem lässt sich nicht sagen, ob der eigentliche Act der Athmungsoxydation in allen Fällen identisch verläuft, oder ob vielleicht sogar in derselben Zelle gleichzeitig verschiedene Ursachen den Eingriff des neutralen Sauerstoffs herbeiführen können. Ferner sind in beiden Fällen mannigfache und verwickelte Combinationen denkbar, welche aus den gesammten Eigenschaften und Thätigkeiten entspringen. Denn zu einer vollständigen Aufhellung bedarf es einer Einsicht in die vielleicht sehr mannigfachen Umwandlungen und Wechselwirkungen, welche den Athmungsprocess vorbereiten und endlich den letzten Act oder die letzten Acte der physiologischen Oxydation verursachen. Möglich, dass dieser eigentliche Oxydationsprocess sehr einfach ist, doch kann er ebensogut auch aus einer Kette von Processen zusammengesetzt sein und jedenfalls kann man, auf Grund von Beispielen der Autoxydation in todten Massen, nicht analoge Proceduren für den Protoplasmakörper, diesen complicirten Mechanismus, fordern. Mit der Thatsache, dass unter Consum von Zucker oder anderen Stoffen und unter Eingriff von Sauerstoff Kohlensäure und Wasser entstehen, ist also mit alleiniger Kenntniss der Ausgangs- und Endproducte natürlich auch in diesem Falle möglich, dass mannigfache Processe und Umsetzungen und vielleicht in sehr schneller Aufeinanderfolge sich abwickelten (vgl. p. 460).

Unter den mannigfachen möglichen Ursachen, welche in der physiologischen Oxydation mitspielen könnten, ist z. B. an Sauerstoffüberträger zu denken, d. h. an Stoffe, welche ohne eine Activirung von Sauerstoff das neutrale Molekül dieses spalten und darauf in Wechselwirkung mit anderen Körpern an diese die gebundenen Sauerstoffatome abgeben. Es ist dieses ein Austausch, welcher natürlich von der specifischen Qualität der aufeinander wirkenden Stoffe abhängt und demgemäss ist der Sauerstoffüberträger nicht befähigt, beliebige leichter oxydable Stoffe zu verbrennen (vgl. p. 440). Solche Vorgänge, deren physiologische Bedeutung M. Traube[1]) schon vor längerer Zeit hervorhob, werden bekanntlich durch zahlreiche chemische Beispiele veranschaulicht. Erinnert sei z. B. daran, dass

1) Theorie der Fermentwirkung 1858, p. 35. Vgl. Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 679.

Traubenzucker gelöstem Indigo gebundenen Sauerstoff entzieht, während das entstehende Indigweiss wiederum den neutralen Sauerstoff spaltet und in solchem Wechsel eine fortdauernde Oxydation des Traubenzuckers vermittelt. Auch die Schwefelsäureproduction aus schwefliger Säure unter Mithülfe von Stickoxyd ist ein bekanntes Beispiel für einen solchen fermentartig wirkenden Sauerstoffüberträger, welcher selbst ein autoxydabler Körper ist.

In solchen Vorgängen ist fortwährend Oxydation und Reduction im Spiele. Da aber beide Vorgänge nicht unmittelbar zusammenhängen müssen, so wäre denkbar, dass die Spaltung des Sauerstoffmoleküls und die zur Kohlensäureproduction führende Uebertragung der gebundenen Sauerstoffatome zwar genetisch verkettet, aber durch Zwischenprocesse und vielleicht sogar räumlich getrennt, doch in zeitlich schneller Folge im Protoplasma verlaufen. Wie in solchem Falle eine Reihe verschiedener und zum Theil vielleicht tief eingreifender Umsetzungen zusammenwirken könnten, wären solche Complicationen ebenso denkbar, wenn die physiologische Verbrennung ohne Vermittelung von Sauerstoffüberträgern zu Stande käme. Dabei bleibt aber für Sauerstoffeingriff und Kohlensäureproduction innige genetische Verkettung, die auch auf Grund der Erfahrungen gefordert werden muss. Denn ganz unabhängig von einander können beide Processe nicht sein, da, wie schon hervorgehoben wurde, mit Entziehung des Sauerstoffs in manchen Pflanzen die Kohlensäurebildung sofort auf sehr geringe Werthe zurückgeht.

Da man aber weder behaupten, noch negiren kann, dass die Athmungsvorgänge nach obigen Principien sich abspielen, so bleibt es Aufgabe fernerer Forschung, zu entscheiden, ob solches zutrifft oder ob die physiologische Verbrennung in irgend anderer Weise durch die im lebensthätigen Protoplasma gebotenen und geschaffenen Verhältnisse erreicht wird.

Unter die verschiedenen anderweitigen Möglichkeiten fällt auch Nägeli's[1]) Hypothese, nach welcher das lebendige Protoplasma in den zu verbrennenden Stoffen specifische Bewegungszustände der Moleküle und Atome erzeugt und so durch Lockerung des bisherigen Verbandes den Eingriff des neutralen Sauerstoffs herbeiführt. Aller-

1) Theorie d. Gährung 1879, p. 50.

dings in solcher Weise kann das Protoplasma nicht auf jeden verbrennlichen Körper wirken, das lehrt unzweifelhaft die Erhaltung des relativ so leicht oxydirbaren Cyanins im Protoplasma, doch ist damit nicht ausgeschlossen, dass in einem oder auch in einzelnen Körpern die nöthige intramolekulare Bewegung erregt wird, so wie ja auch nur bestimmte Töne in einer Saite Mitschwingungen erregen und die Explosion von Jodstickstoff herbeiführen. Eine Verbrennung in dem durch Nägeli's Hypothese ausgedrückten Sinne könnten also nur ganz bestimmte Stoffe erfahren. Des Sauerstoffüberschusses halber könnten aber auch diese im Protoplasma nicht angehäuft sein, sondern müssten, dem Consum entsprechend, dauernd zugeführt oder im Innern producirt werden.

Alle Hypothesen aber, mögen sie autoxydable oder für sich bradoxydable Stoffe annehmen, lassen vorbereitende Stoffmetamorphosen zu und solche müssen sogar auf Grund des Nachweises, dass im Protoplasma keine allgemeine Oxydationswirkung besteht, zumeist gefordert werden. Denn es ist ganz undenkbar, dass alle die zahlreichen Stoffe, welche, wie Kohlehydrate, Glycerin, organische Säuren, Pepton u. s. w., in Pilzen die Athmung zu unterhalten vermögen, in der lebenden Zelle direct der physiologischen Oxydation anheimfallen, welche dem ungleich oxydableren Cyanin nichts anzuhaben vermag. Ebenso kann man nicht wohl annehmen, dass alle diese heterogenen Körper, nur nicht Cyanin, durch specifische Wechselwirkungen im Protoplasma direct verbrannt werden, mag man nun diese Wechselwirkungen in besagter intramolekularer Bewegung, in Sauerstoffüberträgern oder in beliebig anderen Verhältnissen suchen.

Wird aber vorausgehender Stoffumsatz, welcher auch für Stärkekörner und andere unlösliche Körper ein Postulat ist, für Pilze, und aus gleichen Erwägungen für andere Pflanzen, sicher für sehr viele Fälle zur Nothwendigkeit, so muss es auf Grund dieser Schlüsse überhaupt am wahrscheinlichsten dünken, dass zum Zwecke der Verathmung die Stoffe irgendwie in den Stoffwechsel gerissen werden. Jedenfalls ist aber unter allen Umständen irgend eine specifische Wechselwirkung im Protoplasma nothwendig, um Körper von einer geringeren Oxydirbarkeit, als Cyanin, zu verbrennen.

Somit ist in bestimmter Weise die bedeutungsvolle Frage gestellt,

ob nur durch Einbeziehen in den Stoffwechsel — gleichviel ob während des Stoffumsatzes oder in Folge dieses — die Verathmung eines Körpers erreicht wird, und in den mitgetheilten Erfahrungen liegen auch Winke, in welcher Weise wohl eine Antwort empirisch zu ermitteln sein dürfte. Hervorgehoben mag hier werden, dass die Verathmung eines zum Unterhalt der Ernährung untauglichen Körpers für sich noch keine Entscheidung in obiger Frage abgiebt. Denn in jedem Falle wäre zunächst der Nachweis zu führen, dass thatsächlich ein solcher Stoff keine Umsetzungen erfuhr, welche auch für ernährungsuntüchtige Stoffe recht wohl möglich sind, und nach unseren Erfahrungen würde z. B. auch Oxalsäure nicht ohne mindestens specifische Wechselwirkungen im Protoplasma zur Oxydation kommen können[1]).

Einstweilen kann nicht bestimmt gesagt werden, ob der eigentliche Act der physiologischen Oxydation specifisch verschieden oder immer identisch ist. Auch letzteres wäre möglich. Denn so gut wie z. B. Schimmelpilze aus ganz heterogenen Nährstoffen Zellhaut, Proteïnstoffe u. s. w. in gleicher Qualität zu formiren verstehen, kann man ihnen auch die Fähigkeit nicht absprechen, immer denselben Stoff oder Stoffcomplex aus ganz verschiedenem zur Verathmung dienendem Material zu erzeugen. Dass aber die Abhängigkeit der Athmungsintensität von dem gebotenen Material in unseren Fragen nicht schlechthin entscheiden kann[2]), bedarf hier wohl keiner Erörterung.

Lässt sich nicht einmal sicher die allgemeine Frage beantworten, ob unter allen Umständen Stoffumsatz nothwendig ist, um den

---

1) Nach Nägeli (Botan. Mittheilungen 1884, Bd. 3, p. 401) können Pilze mit Oxalsäure nicht ernährt werden, doch ist damit nicht ausgeschlossen, dass dieser Körper in Verband mit anderen Nährmaterialen für den Organismus nutzbringend Verwendung finden kann. Bezüglich der Athmungsfrage ist zu bedenken, dass Oxalsäure (übrigens auch Cyanin) bei Gegenwart gewisser Stoffe am Licht oxydirt wird. Ameisensäure und Harnstoff, mit welchen Nägeli (l. c.) negative Resultate erhielt, sind nach Diakonow (Ber. d. botan. Gesellschaft 1887, p. 384) mässige Nährstoffe für Schimmelpilze. — Cyanin, doch auch Methylenblau und viele andere Farbstoffe, werden thatsächlich von Pflanzenzellen nicht verarbeitet.

2) Ebensowenig eine elective Verathmung. Ueber electiven Stoffwechsel vgl. p. 437.

oxydirenden Eingriff des passiven Sauerstoffs zu erzielen, so ist natürlich auch nichts Bestimmtes über die Qualität solcher vielleicht nothwendigen Processe zu sagen, mag es sich nun um einen autoxydablen, oder um einen für sich bradoxydablen Körper drehen. Es ist also wohl möglich, wie auch schon in meiner früheren Abhandlung hervorgehoben wurde[1]), dass im Athmungsprocess eine dauernde Zertrümmerung von Proteïnstoffen thätig ist, oder dass diese in irgend einer Weise, etwa durch fortwährende Spaltung und Regeneration, vermittelnd wirken.

In der früheren Abhandlung ist auch schon hervorgehoben, dass aus der Sistirung der Athmung mit dem Tode, aus der Thatsache, dass diese gewisse Betriebskraft zu liefern hat, und aus anderweitigen Erfahrungen über mindestens quantitative Beeinflussung durch äussere Agentien zur Zeit keine bestimmten Schlussfolgerungen über die Qualität des Oxydationsprocesses zu ziehen sind[2]).

Die Unabhängigkeit der Athmungsintensität von einem Sauerstoffüberschuss in der Zelle ist natürlich immer erreicht, sofern nur in jedem Augenblicke Sauerstoffaffinitäten in begrenzter Quantität entwickelt werden. Solches ist aber ebensowohl möglich, indem z. B. entstehendes autoxydables Material in dem Maasse verbrennt als es entsteht, oder indem, bei Gegenwart eines Sauerstoffüberträgers, sowohl die Quantität dieses, als die Menge des dauernd entstehenden bradoxydablen Körpers, die Intensität der Athmung bestimmt, oder auch wenn während eines Stoffumsatzes, und nach Maassgabe dieses, der neutrale Sauerstoff eingreift. Wenigstens dem allgemeinsten Principe nach wird der Sauerstoffconsum ebenso durch die jeweils entwickelten Affinitäten bestimmt, wenn der in einem chemischen Processe sich fortwährend entwickelnde autoxydable Phosphorwasserstoff im Augenblick seiner Entstehung eine entsprechende Quantität von molekularem Sauerstoff beschlagnahmt. Und wie in diesem Falle die Ausgiebigkeit des den Phosphorwasserstoff producirenden Processes von verschiedenen Umständen abhängig ist, kann

---

1) Unt. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 676.

2) Auf die Möglichkeit, dass gewisse Oxydationen z. B. erst durch Temperaturerhöhung oder durch Licht hervorgerufen werden könnten, wurde p. 454 hingewiesen.

auch, je nach Umständen, die Thätigkeit des Protoplasmakörpers, und damit die Intensität der Athmungsoxydation, steigen und fallen.

Da aber Eigenschaft und Thätigkeit der Organismen bekanntlich einen hohen Einfluss auf den Athmungsprocess haben, so kann es nicht Wunder nehmen, dass dieser nicht immer von Veränderungen im Partiärdruck des Sauerstoffs ganz unberührt bleibt. Diese indirecten Beeinflussungen haben indess für unsere Schlüsse, betreffend die Unabhängigkeit der Athmungsgrösse von dem Partiärdruck des Sauerstoffs keine Bedeutung, denn bei sehr weiten Schwankungen dieses sind durchgehends die Abweichungen nur gering und zudem bei manchen Pflanzen fast gar nicht vorhanden. Solche Beispiele lehren u. a. die Versuche von Johannsen[1]) für den Partiärdruck des Sauerstoffs in gewöhnlicher und einer auf 15 Atmosphären comprimirten Luft kennen, und Wilson[2]) fand in Keimlingen der Sonnenrose eine Abnahme der Kohlensäureproduction erst, als der Sauerstoffgehalt der Luft auf 1% gesunken war.

Die immer nur ziemlich kleinen Schwankungen der Kohlensäureproduction bei verändertem Partiärdruck sind also als Rückwirkungen der unter diesen Umständen irgendwie veränderten Thätigkeit aufzufassen. Zeugniss für solche Modification liefert die mit dem Partiärdruck veränderliche Wachsthumsthätigkeit[3]), das Fliehen der Spirillen[4]) bei gesteigertem Partiärdruck des Sauerstoffs. Auch die von der Athmung unabhängige Tödtung der Pflanzen durch zu hohen Sauerstoffdruck ist ein Beweis, dass dieser Körper, so gut wie andere Stoffe, durch seine Quantität anderweitig den Organismus beeinflusst[5]). Und solcher Beeinflussung sind wiederum verschiedene Organismen in specifisch ungleichem Grade zugänglich. Das lehren sogleich die den freien Sauerstoff gar nicht vertragenden und die nur bei geringerem Partiärdruck gedeihenden Bacterien[6]). Auch ist wohl ver-

1) Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 687.

2) Ebenda Bd. I, p. 225. Vgl. auch hinsichtlich der Protoplasmaströmung Clark, Bericht. d. bot. Gesellschaft 1888, Bd. 6, p. 273.

3) Vgl. Wieler, ebenda, Bd. I, p. 189 und Jentys, ebenda, Bd. II, p. 419.

4) Engelmann, Pflüger's Archiv f. Physiologie 1881, Bd. 26, p. 541.

5) Vgl. Jentys, l. c., p. 458.

6) Vgl. Winogradsky, Beiträge zur Morphologie u. Physiologie d. Bacterien 1880, Heft I, p. 50.

ständlich, dass, wie es der Fall zu sein scheint, unmittelbar nach dem Wechsel ein Einfluss des Partiärdruckes auf die Athmung weniger hervortritt, als nach längerem Aufenthalt in den neuen Bedingungen, unter denen allmählich die Thätigkeit der Pflanze mehr oder weniger Modificationen[1]) erleidet.

Auch die durch Sauerstoffentziehung erzielbaren Erfolge eröffnen noch keine näheren Einblicke in den Athmungsvorgang, doch sind mit Rücksicht auf diesen die intramolekularen Athmungserscheinungen stets wohl im Auge zu behalten. Denn wenn auch thatsächlich, wie es wahrscheinlich ist, normale und intramolekulare Athmung aus denselben primären Ursachen entspringen sollten, so ist doch, wie ich früher erörterte[2]), nur auf das Vorhandensein von Sauerstoffaffinitäten zurückzugehen, gleichviel wie diese Affinitäten erzeugt werden, welche durch ihr Fortbestehen anderweitige Wirkungen herbeiführen, sobald sie nicht mehr, wie bisher, ihre Befriedigung durch den neutralen Sauerstoff finden. Diese so erzielten Erfolge können aber sowohl aus mechanischen Wechselwirkungen, als Reizwirkungen entspringen, und so ist je nach specifischen Eigenschaften des Organismus, auch schon je nach Qualität des in Umsetzung tretenden Materials, nicht immer die Erzielung gleicher Reactionen, und somit auch nicht immer die Production von Kohlensäure, als eine Folge der Sauerstoffentziehung nothwendig.

Historische Bemerkungen.

Der Vollständigkeit halber mag hier nochmals[3]) ein kurzer Hinweis auf die bisherigen Hypothesen über die Causalität des physiologischen Verbrennungsprocesses Platz finden. Diese Hypothesen sehen, wie schon bemerkt, die primäre Ursache der Oxydation entweder in activirtem Sauerstoff oder in einem irgendwie erzielten Eingriff des neutralen Sauerstoffs, also allgemein gesagt in Entwickelung von Sauerstoffaffinitäten im Organismus. In letzterem Falle wird

---

1) Vgl. Godlewski, Jahrb. f. wiss. Bot. 1882, Bd. 13, p. 522; auch Bonnier et Magnin in Annal. d. scienc. naturelles 1884, sér. VI, Bd. XVII, XVIII, XIX.

2) Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 663.

3) Vgl. Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. I, p. 682.

dann in manchen Theorien eine mehr oder weniger weitgehende Mitwirkung des secundär, im Processe der Oxydation, entstehenden activirten Sauerstoffs zugelassen.

Mit dem nachgewiesenen Fehlen des activirten Sauerstoffs in der Zelle sind natürlich die auf diesen gebauten Hypothesen widerlegt. Zu diesen gehört die schon besprochene Theorie Hoppe-Seyler's[1]), nach welcher nascirender Wasserstoff das Sauerstoffmolekül spaltet und das damit frei werdende eine Sauerstoffatom die Athmungsoxydationen vollbringt. Die einzige nähere Ursache dieser ist also der atomistische Sauerstoff, welcher freilich selbst einem Autoxydationsprocess entspringt.

Schönbein hat zwar activirten Sauerstoff (Ozon) nicht in bestimmter Weise als Ursache der Athmungsoxydationen ausgesprochen, jedoch anscheinend ein solches Causalverhältniss angenommen. Wie schon dargethan ist, berechtigen indess Schönbein's empirische Resultate nicht zu solchen Schlüssen und ebenso hat Wurster nur in ausgepressten Säften Activirungen beobachtet, und die auf solche Reactionen gegründeten Speculationen, bezüglich der Rolle von activirtem Sauerstoff innerhalb der lebendigen Zelle, haben keine Berechtigung[2]).

Uebrigens hat activirter Sauerstoff als primäre Ursache der Athmung in der Pflanzenphysiologie nie festen Boden gefasst, und auch in der Thierphysiologie scheint solche Annahme verlassen zu sein, seitdem Pflüger, auf Grund verschiedener Erwägungen, sich entschieden dagegen erklärte[3]). Entscheidende Beweise für das Fehlen von activirtem Sauerstoff in dem Protoplasmakörper selbst gab es bisher nicht, und so vermochte ich früher[4]) die Erzeugung der physiologischen Verbrennung in der Zelle durch activirten Sauerstoff nur als recht unwahrscheinlich zu kennzeichnen. Alle nicht

---

1) Vgl. p. 445. Die späteren Speculationen Hoppe-Seyler's (Ueber die Entwickelung d. physiol. Chemie 1884, p. 23), nach welchen der Sauerstoff anhydrisches Protoplasma zu bilden hat, darf ich hier wohl übergehen. Jedenfalls ist schon darin gefehlt, dass das Protoplasma wie ein homogener chemischer Körper behandelt wird.

2) Vgl. p. 445, 466.

3) Vgl. Hermann, Handbuch d. Physiologie 1882, Bd. IV, Abth. 2, p. 93.

4) Unters. a. d. Tübinger Institut. l. c., p. 678.

auf activirten Sauerstoff als primäre Ursache basirten Theorien beruhen aber, was die näheren Ursachen der Athmungsoxydation betrifft, auf Speculationen, und es genügt hier ein kurzer Hinweis auf die solchen Hypothesen zu Grunde liegenden Principien [1]).

Als Ursache des Sauerstoffeingriffs sprach ich früher [2]) einen Sauerstoffaffinitäten entwickelnden Dissociationsprocess an, welcher nach Entziehung des Sauerstoffs seine Fortdauer in der intramolekularen Athmungsthätigkeit kund gebe. Während ich die Qualität dieser Zertrümmerungen dahin gestellt und es also unbestimmt liess, ob etwa Proteïnstoffe dabei gespalten werden, suchte Detmer [3]) in einer Dissociation dieser letzteren, und speciell in dem dabei entstehenden stickstofffreien Product, die Ursache des Sauerstoffeingriffs. Später habe ich noch besonders betont, dass die vorliegenden Erfahrungen die sichere Fundirung einer bestimmten Hypothese über das Nähere des Oxydationsvorgangs nicht gestatten, dass vielleicht diese Processe nicht immer identisch sind und vielleicht aus complicirterem Zusammenwirken resultiren, in welchem möglicherweise Sauerstoffübertragung eine hervorragende Rolle spielt. Die für den Fall der Entstehung zugelassene secundäre Mitwirkung von activirtem Sauerstoff fällt mit dem Nachweis, dass dieser in der lebensthätigen Zelle nicht zur Entstehung kommt, hinweg, und dasselbe gilt für alle Theorien, welche auf solche Mitwirkung von activirtem Sauerstoff reflectirten.

Schmiedeberg [4]) war nicht geneigt, der secundären Mitwirkung von activirtem Sauerstoff eine wesentliche Bedeutung beizumessen, liess übrigens die Ursachen für den Eingriff des passiven Sauerstoffs unbestimmt, wenn er auch darauf hinwies, dass man solchen Eingriff nach Analogie gewisser synthetischer Processe verwirklicht denken könnte. Eine ausgedehnte Bedeutung für activirten Sauerstoff nehmen Nencki und Sieber [5]) an, welche diese Activirung und die primäre Ursache der Athmung in Oxydation von Proteïnstoffen suchten. Auch

---

1) Vgl. auch Pfeffer, l. c. p. 682.

2) Landwirthschaftl. Jahrbücher 1878, Bd. 7, p. 808, 818.

3) Jahrb. f. wiss. Bot. 1879—81, Bd. XII, p. 284; Lehrbuch d. Pflanzenphysiol. 1883, p. 284.

4) Archiv f. experiment. Pathol. u. Pharmakologie 1881, Bd. 14, p. 298.

5) Journal. f. prakt. Chemie 1882, N. F., Bd. 26, p. 30.

Nasse[1]) nahm neuerdings eine solche secundäre Wirkung des activirten Sauerstoffs in ausgedehnterer Weise an.

Auf Autoxydation und damit verknüpfte Production von Wasserstoffsuperoxyd beruht auch Reinke's Hypothese. Die weiteren Annahmen, dass die für sich autoxydablen Stoffe im Innern der Zelle wegen Mangel von passivem Sauerstoff intact bleiben und nur in der Peripherie des Protoplasmas verbrannt werden sollen, stehen mit sicheren Thatsachen in vollem Widerspruch, wie schon genügend dargethan wurde[2]). Die späterhin von Reinke[3]) supponirte allgemeine postmortale Kohlensäureproduction ist an sich unrichtig und ändert somit an der Sachlage nichts (vgl. p. 482).

Da eine allgemeine Oxydationswirkung im Protoplasma nicht besteht, so ist mit der Vertheilung der Körper in diesem die Verbrennung der verschiedensten Stoffe nicht zu erreichen, wie Nägeli[4]) will, dessen Hypothese, wie schon gekennzeichnet wurde, intramolekulare Bewegungszustände der zu oxydirenden Körper als Ursache des Sauerstoffeingriffs anspricht.

XII. Postmortale Kohlensäureproduction.

Es wurde schon hervorgehoben (p. 483), dass eine postmortale Sauerstoffabsorption und Kohlensäureproduction wohl möglich ist, doch thatsächlich nicht allgemein zutrifft. Das gegentheilige Resultat, dass also nach der Tödtung alle Pflanzen noch reichlich Kohlensäure

---

1) Pflüger's Archiv f. Physiologie 1887, Bd. 41, p. 380.

2) Vgl. p. 450.

3) Bericht. d. botan. Ges. 1887, Bd. 5, p. 216.

4) Vgl. p. 492. Vielleicht schliessen sich Diakonow's Anschauungen hier an (Bericht. d. bot. Gesellschaft 1887, Bd. 5, p. 382). Jedenfalls ist dem Wesen nach darin nicht mehr gesagt, als dass durch irgend welche Vorgänge im Protoplasma die Körper dem neutralen Sauerstoff zugänglich werden. Bei dem unklaren Gedankengang und mangelnden Verständniss für frühere Leistungen ist schwer zu sagen, was der Verfasser eigentlich ausdrücken will, doch ist jedenfalls nichts damit gewonnen, wenn das »Lebenssubstrat« thatsächlich nur als ein Ausdruck (nicht etwa wie der Autor zu meinen scheint als eine Erklärung) für Leistungen des lebendigen Protoplasmas eingeführt wird.

bilden sollen, zu welchem Brenstein nach einer Mittheilung Reinke's[1]) kam, entspricht demgemäss nicht dem wahren Sachverhalt. Dass bezüglich dieser supponirten Allgemeinheit postmortaler Kohlensäurebildung ein Irrthum obwalten muss, haben schon Johannsen[2]) und Detmer[3]) hervorgehoben. Ebenso ergab sich keine oder keine in Betracht kommende Kohlensäurebildung nach dem Tode in Versuchen, welche ich mit Keimlingen von Pisum sativum, Secale cereale und Vicia faba durch meinen Assistenten, Herrn Dr. Klemm, ausführen liess und die hier zunächst mitgetheilt werden mögen.

Die Ausführung der Versuche geschah ganz in der früher von mir beschriebenen und durch eine Abbildung veranschaulichten Weise[4]), natürlich mit Hinweglassung der Einrichtungen und Operationen, welche in diesen früheren Versuchen die Ersetzung der Luft durch Wasserstoff forderte. Ebenso kamen ungefähr gleiche Mengen von Pflanzen zur Verwendung, für welche zunächst die normal entstehende Kohlensäure ermittelt wurde. Darauf kam der die Pflanzen enthaltende Recipient während einiger Zeit in den strömenden Dampf eines Koch'schen Sterilisirungsapparates und nach dem Abkühlen wurde von neuem auf Kohlensäureproduction geprüft. Wenn man das Abkühlen durch Einstellen des Recipienten in Wasser beschleunigt, kann der postmortale Versuch sehr bald beginnen, doch liegen auch 1 bis 2 Stunden zwischen dem Beginn dieses und der Beendigung der normalen Athmung. Alle Versuche wurden bei Lichtabschluss ausgeführt und in jedem Falle wurde vor Beginn der postmortalen Versuche einige Zeit ein kräftiger Luftstrom durch die Pflanzen gesaugt.

Zum Absorbiren diente Barytwasser in Pettenkofer'schen Röhren, zum Titriren Salzsäure mit Phenolphtaleïn als Indicator[5]). Der aus Umfüllen, Titriren etc. entspringende Fehler kann nach empirischer Ermittelung bis 0,3 ccm Salzsäure (= 0,3 mg Kohlensäure) betragen und da 25 ccm Barytwasser titrirt wurden, die Absorptionsröhre

1) Bericht. d. botan. Gesellschaft 1887, Bd. 5, p. 216.
2) Botan. Zeitung 1887, p. 763.
3) Ebenda 1888, p. 43.
4) Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. I, p. 637.
5) Vgl. Ebenda p. 691.

aber 90 ccm fasste, so kann sich ein Gesammtfehler bis 1,1 ccm Säure (= 1,1 mg Kohlensäure) ergeben. Titreabnahmen innerhalb dieser Grenzen erlauben also nicht bestimmt auf eine Kohlensäureproduction zu schliessen.

I. Keimlinge von Secale cereale mit 2—3 cm langen Wurzeln. Temperatur 20° C.

a) Lebende Pflanzen.

1) Kohlensäure in 1 Std. 26,4 mg
2) - - 1 - 23,6 -

b) Getödtete Pflanzen.

3) Kohlensäure in 2 Std. 1,2 mg
4) - - 2 - 0,2 -

Getödtet wurde durch 20 Min. langen Aufenthalt im Sterilisirungsapparat und der Versuch bald nachher fortgesetzt.

II. Keimlinge von Secale cereale. 10 Tage alt. Temp. 17°—18° C.

a) Lebende Pflanzen.

1) Kohlensäure in 1 Std. 10,0 mg
2) - - 1 - 10,6 -

b) Getödtete Pflanzen.

Bald nach Tödtung: 3) Kohlensäure in 3 Std. 0,8 mg
$14^1/_2$ Std. nach 2: 4) - - 1 - 1,2 -
$15^1/_2$ Std. nach 2: 5) - - 2 - 0,9 -

Getödtet durch 6 Min. langen Aufenthalt im Sterilisirungsapparat.

III. Keimlinge von Pisum sativum mit 2—4 cm langen Wurzeln. Temp. 20° C.

a) Lebende Pflanzen.

1) Kohlensäure in 1 Std. 13,9 mg
2) - - 1 - 14,0 -

b) Todte Pflanzen.

Bald nach Tödtung: 3) Kohlensäure in 1 Std. 3,0 mg
4) - - 2 - 1,9 -

15 Std. nach 4:	5)	Kohlensäure in 1 Std.	1,2 mg
	6)	- - 1 -	0,2 -
	7)	- - 1 -	0,6 -

Getödtet wie in Versuch II.

IV. Keimlinge von Vicia faba (kleinsamige Form) mit 5—8 cm langen Wurzeln.

Temp. 19°—20° C.

a) Lebende Pflanzen.

	1)	Kohlensäure in 1 Std.	18,8 mg

b) Todte Pflanzen.

1½ Std. nach Tod:	2)	Kohlensäure in 2 Std.	0,6 mg
	3)	- - 3 -	1,0 -
16 Std. nach 3:	4)	- - 3 -	0,8 -

Getödtet durch 20 Min. Aufenthalt im Sterilisirungsapparat.

Aus diesen Versuchen mit verschiedenen Keimpflanzen ist zu ersehen, dass die ansehnliche Athmungsthätigkeit mit der Tödtung in siedendheissem Wasserdampf erlosch und es bleibt fraglich, ob überhaupt in den angewandten, übrigens für Athmung günstigen Temperaturen, in den todten Pflanzen noch Kohlensäure entstand. Denn die geringen Titreabnahmen, welche in den Versuchen als producirte Kohlensäure (0,2—1,2 mg) erscheinen, überschreiten die gekennzeichnete Fehlergrenze (1,1 mg) nicht oder kaum und es ist nicht zu verwundern, dass diese Fehler einseitig ausfallen, da z. B. Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft während dem wiederholten Umfüllen und auch wohl der Einfluss der Glaswandungen auf eine Verminderung des in Lösung befindlichen Baryumoxyds hinarbeiten. Und wir dürfen in der That auf solche Ursachen die kleine Titreabnahme schieben, da diese bei 1- und 8 stündiger Versuchsdauer keine Steigerung erkennen lässt, aber auch der wesentlichste, durch die Kohlensäureabsorption aus der Luft entspringende Fehler nur von der Zahl der Umfüllungsoperationen, nicht von der Versuchsdauer abhängig ist.

Ob die geringe Kohlensäureentwickelung, welche Pisum bald nach der Tödtung ergab, von in den Pflanzen absorbirter oder irgendwie frei werdender Kohlensäure herrührte, muss dahin gestellt

bleiben, und ich hatte auch keinen Grund, nach Aufhellung dieser Frage zu streben. Denn das lehren unsere Versuche in jedem Falle, dass mit dem Tode die Athmungsoxydationen in unseren Pflanzen erlöschen.

Uebereinstimmend fand Detmer[1]) völligen Stillstand der Kohlensäureproduction in Keimpflanzen von Triticum vulgare und Pisum sativum und in Blüthen von Pavia rubra, nachdem er diese durch 70—80° C. getödtet hatte und etwa 2 Stunden darauf dem Versuche unterwarf. Ferner constatirte Johannsen[2]) allmähliche Abnahme der Kohlensäureproduction und endlich gänzlichen Stillstand dieser, als er Keimlinge (Mais, Gerste, Erbsen) entweder durch hohen Sauerstoffdruck oder durch 45—55° C. langsam zum Absterben brachte. Nach einer oder nach einigen Stunden begann aber wieder eine mit der Zeit sich steigernde Kohlensäureentwickelung. Gleichviel wie diese zu Stande kam, das Einstellen der Kohlensäurebildung zunächst nach dem Tode beweist jedenfalls, dass diese postmortale Kohlensäurebildung einem von der physiologischen Verbrennung wohl zu unterscheidenden Process entsprang.

Für solche postmortale Kohlensäureentwickelung sind übrigens auch verschiedene Ursachen möglich. Eine nur vorübergehende Entwickelung könnte von absorbirter oder locker gebundener Kohlensäure herrühren oder auch in concreten Fällen aus Carbonaten entspringen, welche nach dem Tode mit saurem Zellsaft in Berührung kamen. Ausserdem sind aber Verhältnisse bekannt, welche recht wohl zu länger andauernder postmortaler Kohlensäurebildung führen könnten. So wurde in dieser Abhandlung wiederholt gezeigt (p. 447), dass mit der postmortalen Mischung verschiedene Stoffe oxydirt werden, welche mit dem Leben sich intact erhalten. Ob gerade in den genannten Fällen mit dem Sauerstoffeingriff eine Kohlensäurebildung Hand in Hand geht, muss ich dahin gestellt lassen. Doch ist wohl möglich, dass Kohlensäure in solchen postmortalen Processen (sei es mit oder ohne Bildung farbiger Oxydationsproducte) entsteht und vielleicht vollzieht sich auch ein Theil der Veränderungen, welche

---

1) Landwirthschaftl. Jahrbücher 1882, Bd. 11, p. 231. Vgl. Botan. Zeitung 1888, p. 43.

2) Botan. Zeitung 1887, p. 763.

wir z. B. als Humification bezeichnen, ohne Mitwirkung von Bacterien.

Es ist aber auch wohl möglich, dass verschiedene Pflanzen und selbst dieselben Pflanzen, je nach den Versuchsbedingungen, ein ungleiches Resultat liefern. Ich erinnere u. a. daran, dass in nicht wenigen Stoffen mit Herbeiführung alkalischer Reaction die Oxydation erst eingeleitet oder doch sehr beschleunigt wird, dass ferner in gleichem Sinne gewisse Beimengungen wirken können, so z. B. die Gegenwart von activirenden Stoffen, die in Pflanzensäften vielfach vorhanden sind (vgl. p. 447). Da diese activirenden Stoffe durch Aufkochen zerstört werden, so müssen nach Erhitzen die von ihnen abhängigen Oxydationen erlöschen, während in anderen Vorgängen der Sauerstoffeingriff zumeist mit der Temperatur gesteigert wird. Schon durch solche Erwägungen wird es auch verständlich, dass für sich oder doch unter den in der lebenden Zelle gebotenen Verhältnissen bradoxydable Stoffe mit dem Tode den neutralen Sauerstoff spalten können. Auch für Glycose ist z. B. bekannt, dass sie in alkalischer Lösung und mit steigender Temperatur in erhöhtem Grade oxydirt wird.

Im allgemeinen werden sogleich oder bald nach der Tödtung die während des Lebens räumlich getrennten Stoffe zusammentreten, und Versuche, in welchen solches zutrifft, entscheiden nicht, wie bei Verhinderung solcher Mischung das Resultat sich gestalten würde. Massgebende Versuche in dieser Richtung giebt es nicht. Möglich, dass z. B. bei gesteigertem Sauerstoffdruck zunächst Tödtung ohne sofortige Sistirung der diosmotischen Eigenschaften der Plasmahäute[1]) in einer Zelle eintritt, doch sterben in solchem Falle die Zellen sicherlich ungleichzeitig ab und so mögen wohl Zellen noch lebendig gewesen sein, als in anderen sich bereits Zellsaft und Protoplasma gemischt hatten. Aehnliches gilt offenbar z. B. für die Tödtung mit Aether, und die in manchen Pflanzen bald eintretende Farbenänderung zeigt zum Theil die postmortale Mischung der Säfte an. Diese war aber in jedem Falle in den Versuchen Brenstein's erreicht, in welchen die Kohlensäureproduction erst nach längerer Einwirkung des Aethers bestimmt wurde.

1) Vgl. Pfeffer, Osmotische Untersuchungen 1877, p. 135.

Es ist übrigens keineswegs gleichwerthig, ob Pflanzen durch Siedetemperatur oder durch andere Mittel getödtet werden. Denn im ersten Falle werden, wie schon durch Schönbein bekannt wurde, die activirenden Eigenschaften vernichtet, welche den kalt ausgepressten Pflanzensäften zukommen. Diese activirenden Eigenschaften dürften sich auch bei Tödtung durch comprimirten Sauerstoff oder zwischen 45—55° C. erhalten haben und es muss in Erwägung gezogen werden, ob in den Versuchen Johannsen's in Folge dieser Tödtungsweise die Kohlensäurebildung zunächst stille stand, um nach einigen Stunden wieder zu beginnen. Gleiche Sachlage mag wohl auch bei Tödtung durch Aether geboten sein. Da indess Brenstein ebenso bei Tödtung durch Siedetemperatur postmortale Kohlensäureproduction fand, so haben wir, wenigstens mit Rücksicht auf Brenstein's Resultate, die differente Tödtungsart nicht näher zu discutiren.

In Erwägung des Gesagten kann also eine postmortale Kohlensäureproduction durchaus nicht überraschen, aber es ist ebenso klar und auch schon hervorgehoben (p. 483), dass solche Kohlensäurebildung von den Oxydationsvorgängen in der Athmung lebendiger Organismen wohl zu unterscheiden ist. Diese Differenz wird auch scharf durch die Thatsache gekennzeichnet, dass in bestimmten Pflanzen zunächst oder auch längere Zeit nach dem Tode Kohlensäure nicht oder doch nicht in nennenswerther Menge entsteht, wie es durch Versuche von Detmer, Johannsen und uns festgestellt ist. Es ist aber auch klar, dass eine relativ geringe postmortale Kohlensäurebildung keine Bedeutung hat und es deshalb nicht darauf ankam, noch näher in unseren Versuchen zu bestimmen, ob postmortal keine Spur von Kohlensäure entsteht. Entscheidend ist ja, dass die im Leben lebhaft athmenden Pflanzen nach dem Tode in derselben Temperatur nicht oder kaum Kohlensäure lieferten. Mit Rücksicht auf die Athmung hatte es also auch keine Bedeutung zu prüfen, ob etwa mit steigender Temperatur in den todten Pflanzen Kohlensäure reichlicher entsteht, denn die postmortale Oxydation ist ja bestimmt als ein von der physiologischen Verbrennung wohl zu unterscheidender Vorgang gekennzeichnet. Es ist also in jedem Falle ein Fehler, unter gänzlicher Vernachlässigung der mit dem Tode herbeigeführten neuen Bedingungen, wie es Reinke that, Uebereinstimmung der vitalen und postmortalen Oxydationsvorgänge anzunehmen.

Da aber für concrete Fälle festgestellt ist, dass die Kohlensäurebildung sogleich mit dem Tode erlischt, hatte es für die Athmungsfrage keine Bedeutung zu erforschen, in wie weit ein verschiedenes Resultat durch die Natur der Pflanzen, durch die Art der Tödtung oder durch andere Versuchsbedingungen herbeigeführt werden kann. Natürlich ist in keinem Falle Rücksicht auf Versuche zu nehmen, in welchen die Mitwirkung von Bacterien nicht ausgeschlossen ist[1]). Da Johannsen es unentschieden lässt, ob die von ihm beobachtete, erst einige Zeit nach dem Tode beginnende Kohlensäurebildung unabhängig von Bacterien war, bleibt es auch unentschieden, ob Johannsen überhaupt einen von lebendigen Organismen unabhängigen postmortalen Oxydationsvorgang beobachtete. Sollte dieses zutreffen, so dürfte wohl die Art der Tödtung einen Einfluss auf die postmortale Kohlensäurebildung haben.

In die Versuche Brenstein's gestatten die mir allein bekannten vorläufigen Mittheilungen begreiflicherweise keine genügende Einsicht, doch dürfte eine volle Aufklärung der von jenem erhaltenen Resultate auch nur durch eine Nachuntersuchung zu erhalten sein. In der Natur der angewandten Pflanzen dürften die abweichenden Resultate Brenstein's nicht begründet sein, denn Keimpflanzen von Gerste und Weizen wurden auch von Johannsen, resp. Detmer, aber mit negativem Erfolg geprüft. Mit Johannsen (l. c.) ist aber hervorzuheben, dass, soweit die vorläufige Mittheilung ersehen lässt, Brenstein die Kohlensäure bestimmte, welche während längerer Zeit (24 Stunden) nach dem Tode sich gebildet hatte. Es musste also auch dann ein positives Resultat erhalten werden, wenn einige Zeit nach dem Stillstand der Athmung wieder, wie in den Versuchen Johannsen's, postmortale

---

1) Dieserhalb sind, wie ich schon früher hervorhob (Pflanzenphysiol. Bd. I, p. 351), ältere Angaben über postmortale Kohlensäurebildung nicht beweiskräftig. Aus neuerer Zeit giebt übrigens Chatin (Compt. rend. 1885, Bd. 101, p. 1459) übereinstimmend mit Brenstein an, dass durch Kochen getödtete Pflanzentheile, und zwar nur bei Gegenwart von Sauerstoff, Kohlensäure bilden. Diese Production wird nach Chatin durch Ansäuerung gehemmt oder selbst aufgehoben, durch Alkalien aber gefördert. Sofern hier Bacterien ausgeschlossen sein sollten, würden sich damit vielleicht Differenzen der postmortalen Kohlensäurebildung erklären. — Ferner berichtet Schloesing (Ebenda 1888, Bd. 106, p. 1293) von Kohlensäureentwickelung aus sterilisirten Tabakblättern, die beim Erwärmen auf 70° gesteigert wurde.

Kohlensäurebildung begann. Freilich erhielt Brenstein ein positives Resultat beim Tödten durch siedend heissen Wasserdampf, während bei solchem Verfahren in unseren Versuchen nach 18 Stunden Kohlensäureproduction noch nicht eingetreten war.

Findet aber postmortale Kohlensäurebildung statt, so müssen in dieser natürlich auch Körper oxydirt werden und der Consum von Glycose, welchen Brenstein angiebt, ändert nichts in der nothwendigen Unterscheidung postmortaler und vitaler Oxydation. Aus dieser Thatsache folgt dann nur, dass postmortal auch an sich bradoxydable Stoffe dem Sauerstoff anheimfallen. Dagegen ist die Einstellung der Kohlensäurebildung in todten Pflanzen bei Entziehung des Sauerstoffs nur ein weiterer Beweis, dass in lebenden Pflanzen andere Verhältnisse obwalten, da ohne Sauerstoff in diesen Kohlensäureproduction durch intramolekulare Athmung stattfindet.

Nach der vorläufigen Mittheilung stellten sich in den Versuchen Brenstein's keine Bacterien ein. Dem Auftreten dieser wurde auch theilweise durch Aether vorgebeugt und es kamen auch durch Aether getödtete Pflanzen zur Verwendung. Durch Aether kann aber thatsächlich Barytwasser eine Titreabnahme erfahren, und da ich diese mögliche Fehlerquelle in der vorläufigen Mittheilung nicht erwähnt finde, scheint es mir geboten, diesen Punkt nicht stillschweigend zu übergehen.

Durch Aether wird nämlich die Löslichkeit des Baryumhydroxyds vermindert und demgemäss scheiden sich eine grosse Menge krystallinischer Blättchen aus, wenn man eine concentrirte Lösung von Baryumhydroxyd mit Aether schüttelt und so mit diesem Körper sättigt. Nach solcher Operation bedurften 100 ccm des vom Niederschlag abgehobenen Barytwassers 360,8 ccm unserer Salzsäure (entsprechend 360,8 mg Kohlensäure) weniger als zuvor[1]). Auch verdünntes Barytwasser (ungefähr 1 Theil gesättigtes mit 2 Theilen Wasser) ergab bei solcher Behandlung für 100 ccm eine Titreabnahme um 14,8 ccm Salzsäure (entsprechend 14,8 mg Kohlensäure). Diese Abnahme des Titres fällt wesentlich auf Ausscheidung von Baryumhydroxyd, und nur

1) 25 ccm Barytwasser brauchten zur Neutralisation vor der Behandlung mit Aether 146,8 ccm Salzsäure, nach der Behandlung 56,6 ccm Salzsäure (1 ccm = 1 mg Kohlensäure).

zum kleinsten Theil auf die Volumzunahme durch Auflösung des Aethers[1]).

Bringt man aber in den sonst die Pflanzen aufnehmenden Recipienten Aether, so wird dieser leichtflüchtige Körper mit einem durchgehenden Luftstrom in die Barytröhren übergeführt und, bei Einhaltung unserer Versuchsbedingungen, wurde bei einstündigem Durchleiten von Luft der Titre des oben erwähnten verdünnteren Barytwassers erheblich herabgedrückt und wäre bei erhöhter Temperatur noch schneller vermindert worden. Diese Titreabnahme kann natürlich auch schon vor Sättigung des Barytwassers mit Aether eintreten, hängt übrigens selbstverständlich von einer Reihe hier nicht näher zu erörternder Bedingungen ab, so von der Menge des zugeführten Aethers, der Menge und der Concentration des Barytwassers. Uebrigens absorbiren Kautschukstopfen und Kautschukschläuche so viel Aether, dass schon beim nachherigen Verwenden dieser eine Titreabnahme des in die Absorptionsröhren gefüllten Barytwassers erreicht werden kann.

Ob in den Versuchen Brenstein's in besagter Weise eine Titreabnahme des vorgelegten Barytwassers veranlasst wurde, kann ich nach der mir vorliegenden Mittheilung nicht beurtheilen, die, wie gesagt, diese nahe liegende Fehlerquelle nicht erwähnt. Uebrigens hat Brenstein, so weit ich zu ersehen vermag, auch ohne Aether operirt, und die in diesen Versuchen nach der Titreabnahme von Barytwasser bemessene Kohlensäure muss also anderen Ursprung haben.

Nachträgliche Bemerkung.

Erst nachträglich erhielt ich Kenntniss von der als Rostocker Dissertation erschienenen Schrift Brenstein's, Ueber die Production von Kohlensäure durch getödtete Pflanzentheile 1887. — Ohne entsprechende Experimente dürfte, wie ich schon bemerkte, nicht aufzuklären sein, warum Brenstein's Versuche postmortale Kohlensäurebildung ergaben. — Dass durch Auflösung von Aether Baryumhydroxyd ausgefällt wird, ist aber von Brenstein übersehen. Dabei

---

1) Die Löslichkeit von Aether in Barytwasser wurde nicht ermittelt. Bei 17,5° lösen 12 Theile Wasser 1 Theil Aether.

war das angewandte Barytwasser, nach dem auf Seite 22 angeführtem Beispiel zwar nicht gesättigt, doch so concentrirt, dass eine Ausscheidung von Baryumhydroxyd schon vor der vollen Sättigung mit Aether eintreten musste.

XIII. Blicke auf Reductionsvorgänge in der lebenden Zelle.

Die Erwägungen über Causalität des Athmungsprocesses führen unvermeidlich auf die Frage, ob und in wie weit mit oder in Beziehung zu jenem in der lebendigen Zelle Reductionen, d. h. abgesehen von der Zerreissung des passiven Sauerstoffmoleküls, Entziehungen von Sauerstoffatomen aus anderen Körpern stattfinden oder erzielt werden können. Eine derartige Reduction wäre auch im Spiele, wenn nach dem Schema von Sauerstoffüberträgern irgend welche Stoffe das Sauerstoffmolekül spalten und die so angelagerten Sauerstoffatome dann an den zu verbrennenden Körper überwandern (p. 491). Es muss aber auch nothwendig die Frage aufgeworfen werden, ob die zur Spaltung des Sauerstoffmoleküls führenden Ursachen, also allgemein gesagt, die in der lebendigen Zelle entwickelten Sauerstoffaffinitäten, nicht anderweitig Befriedigung finden und dieserhalb z. B. Wirkungen erzielen können, wenn die Zufuhr des passiven Sauerstoffs abgeschnitten wird, oder wenn andere den Sauerstoff leicht abgebbare Körper zugegen sind. So wie vermuthlich der passive Sauerstoff in der Athmung durch Wasserstoffdioxyd ersetzbar ist, dürften wohl auch anderen Körpern locker gebundene Sauerstoffatome durch die im Athmungsprocess entwickelten Sauerstoffaffinitäten entrissen werden können, sofern solche geeignete Stoffe in das lebensthätige Protoplasma einführbar sind. Vielleicht dass solche Entreissungen in gegebenen Fällen erst durch Mangel des passiven Sauerstoffs herbeigeführt werden, und auf dem allgemeinen Gedanken, dass bei solchem Mangel die fortentwickelten Sauerstoffaffinitäten anderweitige Wirkungen direct und indirect erzielen, beruht meine Anschauung über die Ursache der intramolekularen Athmung und ihre genetische Verknüpfung mit der Sauerstoffathmung,

eine Theorie, welche ich zwar nicht streng beweisen, aber immerhin wahrscheinlich machen konnte[1]).

Fragen obiger Art stehen also im innigsten Zusammenhang mit dem Athmungsvorgang und ihre Aufhellung kann vielleicht einmal für gewisse Phasen des Athmungsprocesses Licht verbreiten. In solchem nutzbringenden Sinne vermag ich freilich die mir derzeit vorliegenden Thatsachen noch nicht weiter zu verwerthen und da ich eingehendere Studien mit Rücksicht auf diese Fragen nicht anstellte, kann es sich hier wesentlich nur um einen orientirenden Hinweis handeln. Die Verwerthung der Thatsachen ist übrigens auch hier zumeist mit den aus den Eigenheiten des complicirten Organismus entspringenden Schwierigkeiten verknüpft und, wie überhaupt (p. 460), ist auch hier mit einfacher Kenntniss der Producte noch nichts über die vielleicht mannigfachen Proceduren gesagt, welche zur Entstehung führten. Werden also speciell, wie es ja oft zutrifft, reducirte Körper gebildet, so ist zunächst fraglich, ob ihre Production überhaupt im Zusammenhang mit dem Athmungsprocess steht und wenn, ob dieser Zusammenhang ein directer oder vielleicht nur durch Reizwirkungen vermittelter ist. Diese Fragen sind auch noch nicht für die Producte der intramolekularen Athmung und so auch z. B. nicht für den Wasserstoff aufgehellt, welcher in Folge der Sauerstoffentziehung in manchen Mannit führenden Pflanzen in Entstehung tritt. Bei solcher Sachlage ist es auch unmöglich, auf Grund der potentiellen Energie des Ausgangsmaterials und vereinzelter Producte Erwägungen anzustellen, welche Kenntniss der Gesammtheit von Umsetzungen in

1) Pfeffer, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. I, p. 663. — Wenn ich Diakonow (Bericht. d. bot. Gesellschaft 1886, Bd. 4, p. 2 u. 411) recht verstehe, so scheint dieser mit Gleichstellung von intramolekularer Athmung und Gährung zugleich eine genetische Verkettung mit der normalen Athmung als ausgeschlossen anzusehen. Thatsächlich ist aber jener Zusammenhang von Gährung und intramolekularer Athmung überhaupt nicht angezweifelt (Pfeffer, l. c. p. 668) und ich habe ausdrücklich dargethan (l. c. p. 668), wie bei solchem Zusammenhang intramolekulare und normale Athmung recht wohl causal verkettet sein können. Uebrigens sind schon in meiner oben citirten Abhandlung die Versuche Diakonow's mit Schimmelpilzen berücksichtigt, welche dieser auf meine Veranlassung in Tübingen ausführte. Ueber anderweitigen Stoffumsatz in der intramolekularen Athmung vgl. Palladin, Bericht. d. botan. Gesellschaft 1888, Bd. 6, p. 270, 296.

qualitativer oder auch quantitativer Hinsicht fordern. Aber so gut, wie bezüglich der Athmungsoxydation, folgt aus diesen Ueberlegungen und der Abhängigkeit des Austausches von Sauerstoffatomen von der specifischen Qualität der in Wechselwirkung tretenden Körper, dass aus dem Verhalten eines einzelnen, möglicherweise gar nicht unter den gebotenen Verhältnissen in Umsetzung tretenden Körpers, kein Maassstab gewonnen wird für die innerhalb des Protoplasmas zur Wirkung kommenden Affinitäten, also speciell auch für die Sauerstoffumlagerungen in Reductions- und Oxydationsprocessen (vgl. p. 489).

In diesem Sinne sind auch die Erfahrungen zu beurtheilen, nach denen, weder bei Mangel noch bei Anwesenheit von Sauerstoff, eine allgemeine und energische Reductionswirkung sich nicht in der lebenden Zelle geltend macht. Dieses negative Resultat wurde für das Protoplasma mit Methylenblau und Safranin, für den Zellsaft mit Methylenblau und dem Oxydationsproduct des Chromogens von Faba erhalten, also mit Farbstoffen, die unter Sauerstoffentziehung in Leucoproducte übergehen können, indess nicht zu den besonders leicht reducirbaren Stoffen gehören.

Die oben genannten künstlichen Farbstoffe werden aber durch gährende Hefe reducirt und gehen in Leucoproducte über, welche an der Luft wieder unter Aufnahme von Sauerstoff in die Farbstoffe sich zurückverwandeln. Diese Reduction hängt indess, wie bekannt[1]), durchaus von der Gährthätigkeit ab und ich fand dieses auch für Methylenblau bestätigt, das durch gährende Hefe eher leichter als Indigolösung reducirt wird, dagegen, so gut wie letzteres intact blieb, als mit Milchzucker ernährte Bierhefe bei Luftabschluss auf diesen Farbstoff wirkte. In diesen Versuchen wurde frische und kräftige Bierhefe in 2 proc. Milchzuckerlösung mit 0,0002 bis 0,0008 % Methylenblau versetzt und dann die Luft durch Wasserstoff aus der Kochflasche verdrängt. Die Flüssigkeit erhielt sich dauernd gefärbt, während nach Zusatz von Traubenzucker sehr bald nach Verdrängung des Sauerstoffs Entfärbung eintrat. Dagegen vermochte eine auf

---

1) Vgl. Nägeli, Theorie d. Gährung 1879, p. 40, 50; Traube, Theorie d. Fermentwirkung 1858, p. 63. — Ueber Reductionsthätigkeiten niederer Organismen vgl. auch Spina, Centralblatt f. Bacteriologie 1887, Bd. 2, p. 71; Raulin, Ebenda 1888, Bd. 4, p. 620.

2 proc. Traubenzuckerlösung erzogene kräftige Cultur von Penicillium glaucum das zugeführte Methylenblau (0,0004 %) bei Entziehung des Sauerstoffs nicht zu reduciren.

Diese Resultate mit Methylenblau haben insofern Bedeutung, als dieser Farbstoff, nicht aber Indigo und Lacmus, in die Zelle eindringt[1]). Demgemäss vermag die nicht gährende Hefe intracellular kein Methylenblau zu reduciren und verhält sich in dieser Hinsicht wie die Zellen höherer Pflanzen und wie Penicillium. In welcher Weise die besagte, auch extracellular mögliche Reduction durch die Gährthätigkeit vermittelt wird, ob dabei Secrete oder nur von der thätigen Zelle ausgehende Molekularbewegungen im Spiele sind[2]), das ist nicht nöthig hier zu discutiren, da wir ohnehin die Gährthätigkeiten als besonders entwickelte Eigenschaften nicht in den Kreis unserer Betrachtungen zogen.

Aus solchen negativen Resultaten folgt aber, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, nicht, dass in der lebendigen Zelle Reductionen nicht in anderen eingeführten Körpern zu Stande kommen können; im Gegentheil, es ist ein positiver Erfolg mit Sicherheit zu erwarten, sofern nur die Einführung geeigneter Stoffe gelingt[3]). Das ist schon allein aus der Erwägung zu entnehmen, dass die lebende Zelle Körper enthält, wie Glycose, Gerbsäure, Chromogene, welche für sich allein unter bestimmten Bedingungen aus gewissen Körpern Sauerstoff an sich reissen können. So ist es auch denkbar, dass es einmal möglich wird, die im Protoplasma als Ursache der Athmung entwickelten Sauerstoffaffinitäten durch eine sichtbare Reaction zur Anschauung zu bringen und zu controliren. Ohnehin ist zu bedenken, dass die zu den erwähnten Versuchen benutzten Farbstoffe Körper sind, welche nicht allzu leicht Sauerstoff abgeben.

Aber mit der Mischung räumlich getrennter Stoffe nach dem Tode kommen, bezüglich der Reductionswirkungen, ebensogut neue Bedingungen zu Stande, wie hinsichtlich der Oxydationswirkungen und so ist es auch mit Bezug auf jene nicht zulässig, ohne

---

1) Vgl. dazu p. 474.

2) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, p. 367.

3) Ich sehe hier von Wasserstoffsuperoxyd und ebenso von passivem Sauerstoff ab, denen beide ja Sauerstoffatome in Oxydationsvorgängen entrissen werden.

weiteres aus den an todten Pflanzentheilen und ausgepressten Säften gewonnenen Resultaten massgebende Rückschlüsse auf die lebendige Zelle zu machen, in welcher zudem sich Umsetzungen abspielen, die mit dem Leben erlöschen. Zu den erst mit dem Tode eintretenden Reactionen gehören auch die von Loew und Bokorny[1]) in einer unwissenschaftlichen Weise interpretirten Reductionen, welche Pflanzen in verdünnter alkalischer Silberlösung erzielen. Auch Wurster konnte mit seinen Reagenspapieren, wie schon bemerkt wurde (p. 467), nur Reactionen der aus der todten Zelle getretenen Säfte beobachten. Damit soll natürlich nicht die Möglichkeit geleugnet werden, dass diese Reagentien oder dass Silberlösung, sofern deren Einführung in die lebendige Zelle gelingt, nicht auch in dieser Reductionen erfahren[2]).

Die genannten Reductionen durch gährungsthätige Organismen lehren, dass Zellen specifische Eigenthümlichkeiten besitzen können, die natürlich auch ohne Gährthätigkeit zulässig sind. Es ist also wohl möglich, dass in bestimmten Zellen Methylenblau oder Safranin entfärbt werden. Für Pflanzen ist noch kein Beispiel bekannt; in den Epithelzellen der Kaninchenniere soll dagegen nach Dreser[3]) aus Methylenblau, nicht aber aus Indigcarmin, die Leucofarbe entstehen. Ob die von Ehrlich[4]) im animalischen Organismus verfolgte Reduction von Methylenblau intracellular oder extracellular stattfand, weiss ich nicht zu entscheiden und, abgesehen von dieser Unbestimmtheit, sind die von Ehrlich[5]) mit Indophenolweiss und Alizarinblau erhaltenen Resultate nicht einwurfsfrei, wie von Wurster und Gad gezeigt wurde.

---

1) Vgl. die Kritik in Flora, 1889, p. 46.

2) Die Lösungen von Gold, Silber u. s. w. sind ziemlich starke, z. Th. sehr starke Gifte und ein Eintritt in die Zelle ist, ohne Schädigung dieser, noch nicht direct beobachtet. Gelänge die Einführung, so dürften wohl ziemlich gewiss Metallausscheidungen zu erwarten sein. Ob vielleicht Osmiumsäure in sehr grosser Verdünnung in Zellen ohne Schädigung zu bringen ist, bedarf auch noch der Prüfung. Vgl. Giercke, Färberei zu mikroskop. Zwecken 1885, p. 74.

3) Zeitschrift f. Biologie 1885, N. F., Bd. 3, p. 48, 54, 63.

4) Deutsche medicin. Wochenschrift 1886, Nr. 4.

5) Das Sauerstoffbedürfniss d. Organismus 1885, p. 30, 72. Vgl. diese Abhandlung p. 426 und ebenso Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen Bd. II, p. 271.

Die Unfähigkeit des Zellsaftes verschiedener Pflanzen, das gespeicherte Methylenblau nach Entziehung des Sauerstoffs zu reduciren, wurde schon früher[1]) von mir nachgewiesen. Ebenso zeigte ich[2]), dass auch der Protoplasmakörper das Methylenblau nicht reduciren kann, da dasselbe, selbst bei Fehlen von Sauerstoff, als blauer Farbstoff im Zellsaft gespeichert wird. Aus schon mitgetheilten Versuchen (p. 423) folgt ferner, dass die normal thätigen Zellen der Wurzeln von Trianea, Azolla, Lemna aus dem durch Wasserstoffsuperoxyd erhaltenen farblosen Oxydationsproduct des Methylenblaus diesen Farbstoff nicht zu regeneriren vermögen. Endlich ist die mitgetheilte Nichtfärbung des Protoplasmas in den Wurzelhaaren von Trianea bei gleichzeitigem Eindringen von Methylenblau und Wasserstoffsuperoxyd ein Beweis, dass die Nichtspeicherung dieses Farbstoffs in einer Reduction zu farbloser Leucofarbe nicht begründet ist (p. 424).

Das Verbleiben der leichtesten durch Wasserstoffsuperoxyd erreichten Oxydationsfärbung im Zellsaft von Faba ist weiter ein Beweis, dass dieser so entstandene Farbstoff in der Vacuolenflüssigkeit der lebensthätigen Zelle nicht wieder zu farblosem Chromogen reducirt wird (p. 431).

Für Safranin, das schwieriger reducirt wird als Methylenblau[3]), konnte ich keine Entfärbung bemerken, als ich Wurzelhaaren von Trianea, deren Protoplasma schön roth gefärbt war, langsamer oder schneller durch Ueberleiten von Wasserstoff in einer Gaskammer den Sauerstoff entzog. Es ist aber eher wahrscheinlich, dass unter solchen Umständen eine Reduction gelingt, wenn man einen Farbstoff anwenden kann, der leicht zu einem Leucoproduct wird. Der verhältnissmässig leicht reducirbare Farbstoff aus Dimethylparaphenylendiamin färbt leider das Protoplasma von Trianea zu schwach (p. 425), um in Versuchen dieser Art ein gutes Reagens abgeben zu können.

---

1) Unters. a. d. botan. Institut in Tübingen Bd. II, p. 284.

2) Ebenda p. 279.

3) Vgl. Pfeffer, l. c., p. 279.

XIV. Zusammenfassung einiger Resultate.

Wasserstoffsuperoxyd dringt leicht in den Protoplasmakörper, aber nur schwieriger durch Cuticula und überhaupt durch Zellwände, welche Wasser schlecht passiren lassen.

Ist die Zellwand durchlässig, so gelangt Wasserstoffsuperoxyd selbst aus sehr verdünnten Lösungen schnell bis in den Zellsaft lebendiger Zellen. Wasserstoffsuperoxyd ist also in kleinen Mengen ohne Schädigung im Protoplasmakörper existenzfähig und erleidet in diesem anscheinend keine grössere Zersetzung, als durch viele, an sich nicht oxydable todte Körper.

In manchen Pflanzen bewirkt Wasserstoffsuperoxyd durch Oxydation Färbungen oder Entfärbungen im Zellsaft, also Reactionen, welche das Eindringen des Wasserstoffsuperoxyds in den Zellsaft anzeigen.

Solche Oxydationen erfahren indess nicht alle Farbstoffe oder Chromogene und in manchen Pflanzen unterbleibt eine Reaction sogar, wenn im Zellsaft ein Chromogen vorhanden ist, welches nach dem Tode durch den passiven Sauerstoff gefärbt wird. Es erklärt sich solches daraus, dass Wasserstoffsuperoxyd vielfach erst durch die Gegenwart gewisser Stoffe zu kräftigerer Oxydationswirkung befähigt wird und dass eine solche Vermittelung nicht in jedem Zellsaft geboten ist.

Der ungleichen Oxydationsfähigkeit halber ruft Wasserstoffsuperoxyd bei manchen Pflanzen unmittelbar mit dem Eintritt, bei anderen erst nach einiger Zeit die genannten Reactionen im Zellsaft hervor. Diese kommen sowohl in sauren als in neutralen Zellsäften und zumeist ohne wesentliche Aenderung der Reaction zu Stande. In einem Falle, bei Coleus, wurde aber durch Herbeiführung alkalischer Reaction die Entfärbung durch Wasserstoffsuperoxyd beschleunigt.

Durch Ozon wurde keine Oxydation im Zellsaft lebender Zellen erzielt, weil dieser Körper auf das Protoplasma zu leicht tödtend einwirkt.

Im lebendigen Protoplasmakörper lässt sich durch Wasserstoffsuperoxyd eine direct sichtbare Reaction nach Speicherung von

Cyanin erreichen, denn dieses wird durch Wasserstoffsuperoxyd sogleich entfärbt. Ohne Zufuhr dieses Reagens findet im Dunkeln eine solche Reaction nicht statt und nur ganz allmählich entfärbt sich, wie auch bei Anwendung anderer gespeicherter und nicht oxydabler Farbstoffe, das Protoplasma durch Exosmose des Farbstoffs. Bei genügender Beleuchtung wird dagegen sowohl das in Wasser gelöste, als das im Protoplasma gespeicherte Cyanin durch den passiven Sauerstoff unter Oxydation entfärbt.

Die ungestörte Fortdauer der Protoplasmaströmung während der und nach den Oxydationen zeigt, dass diese ohne Schädigung des Lebens möglich sind. Dem entsprechend erweisen sich auch die so mit Wasserstoffsuperoxyd behandelten Pflanzen in normaler Weise wachsthumsfähig.

Die genannten Oxydationen werden in der fortlebenden Zelle nicht wieder rückgängig gemacht. Es findet also weder Reduction des erzielten Oxydationsproductes, noch Consum des erzeugten Farbstoffs statt. Ebenso unterbleibt in den ausgewachsenen Zellen die Neubildung des Farbstoffs oder Chromogens, die demgemäss für das Leben entbehrlich sind und sich bezüglich des Stoffwechsels wie Secrete verhalten.

Während des Lebens bleiben die postmortal sich färbenden Chromogene deshalb ungefärbt, weil mit dem Tode und der damit erzielten Mischung zuvor räumlich getrennter Stoffe Bedingungen geschaffen werden, welche den passiven Sauerstoff befähigen, oxydirende Wirkung gegen die Chromogene und gegen gewisse Reagentien geltend zu machen.

In der lebensthätigen Zelle kann freier passiver Sauerstoff bis in den Zellsaft im Ueberschuss vorhanden sein, so wie ja auch sogar Wasserstoffsuperoxyd existenzfähig ist, sobald Körper fehlen, resp. beseitigt sind, welche durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirt werden.

Aus dem Unterbleiben der mit Wasserstoffsuperoxyd hervorrufbaren Reactionen folgt, dass weder Wasserstoffsuperoxyd, noch ein ähnlich oder stärker wirkender activirter Sauerstoff in der lebensthätigen Zelle zur Entstehung kommt. Dieses gilt ebenso für den Zellsaft als für das Protoplasma.

Auch wurde gezeigt, dass im Protoplasma (Analoges gilt auch für den Zellsaft) keine Stoffe vorhanden sind, welche, indem sie leichter oxydabel sind, die Wirkung von activirtem Sauerstoff auf Cyanin verhindern könnten.

Zu gleichen Schlüssen führten auch Versuche mit Penicillium glaucum. Dagegen muss es fraglich bleiben, ob gährthätige Organismen, die nicht in den Kreis unserer Untersuchungen gezogen wurden, auch hinsichtlich der Oxydationswirkung andere Eigenschaften entwickeln.

Auch bei dem genannten Schimmelpilz spielt sich, wie bei höheren Pflanzen, die Athmungsoxydation im Innern des lebendigen Organismus ab, denn eine von der lebendigen Zelle ausgehende extracellulare Oxydationswirkung kann auch bei lebhaft athmendem Penicillium ganz fehlen. Demgemäss ist extracellulare Oxydation, falls sie unter bestimmten Verhältnissen eintreten sollte, von dem Athmungsvorgang im Protoplasmakörper wohl zu unterscheiden.

Aus dem Intactbleiben des so leicht oxydablen Cyanins im Protoplasma folgt auch, dass dieses gegen imbibirte Körper nicht allgemein eine Wirkung geltend macht, die, etwa so wie genügend gesteigerte Erwärmung, einen oxydirenden Eingriff des passiven Sauerstoffs herbeiführt.

Da also in der lebenden Zelle weder activer Sauerstoff, noch irgend eine andere allgemeine Oxydationswirkung besteht, so kann auch die Verbrennung der verschiedenen Stoffe im Athmungsprocess nicht durch einfache Imbibition in den Protoplasmakörper erreicht werden.

Vielmehr muss mindestens eine specifische Wechselwirkung eine Rolle spielen und am wahrscheinlichsten ist, dass erst durch Einbeziehung des zu verathmenden Körpers in den Stoffumsatz die geeigneten Verbindungen oder Bedingungen geschaffen werden, welche den oxydirenden Eingriff des passiven Sauerstoffs herbeiführen. Von dem Ausmaass solcher Bedingungen ist aber die Intensität der Athmungsoxydation abhängig, die demgemäss durch Zufuhr eines Ueberschusses an Sauerstoff nicht gesteigert wird.

UEBER

MEDULLOSA COTTA UND TUBICAULIS COTTA

VON

A. SCHENK,
MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° VI.

HIERZU DREI TAFELN.

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL.
1889.

Das Manuscript eingeliefert am 4. März 1889.
Der Druck beendet am 20. Mai 1889.

UEBER

MEDULLOSA COTTA UND TUBICAULIS COTTA

VON

A. SCHENK.

HIERZU DREI TAFELN.

Die von Cotta (Dendrologie, pag. 66. tab. 13) zuerst als Medullosa beschriebenen und abgebildeten verkieselten Stammreste von Hilbersdorf bei Chemnitz sind zwar später wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen, indess weder Cotta's Untersuchungen, noch die späteren haben zu einem befriedigenden Resultate geführt. Brongniart (Tableau des genres des végét. foss. Paris 1849, p. 59) verweist sie neben Colpoxylon Brongn. zu den Cycadeen, ebenso Mougeot (Essai d'une Flore foss. du nouveau grès rouge des Vosges. Epinal, 1852) und Göppert (Fossile Flora der Perm'schen Formation. 1852), welchen Vorgängern Schimper in seinem Traité de paléontologie végétale sich anschliesst. Auch von Renault werden sie (Cours de bot. foss. Tom. I. Paris, 1881) den Cycadeen beigesellt. Göppert und Stenzel in ihrer Abhandlung: Die Medulloseen; eine Gruppe fossiler Cycadeen. Cassel, Th. Fischer, 1881) erklären sie für eine Gruppe der Cycadeen, Solms in seiner Einleitung in die Phytopalaeontologie pag. 169, ich in meiner Abhandlung »die fossilen Pflanzenreste«, Breslau 1888, als eine den Cycadeen nahestehende Gruppe. Der einzige Fortschritt unserer Kenntnisse hinsichtlich des Baues der Stämme, welcher während dieser Zeit zu verzeichnen ist, ist Göppert's und Stenzel's Beobachtung, dass die markständigen wie die in der Peripherie des Stammes liegenden Holzbündel und Platten, jeder mit Mark und Bast versehen, in sich geschlossen sind und die peripherischen nicht den Dicotylen ähnliche Zuwachszonen, wie jene der Cycadeen sind. Solms und ich wiesen dann auf das Vorkommen einzelner Tracheiden im Partialmarke hin, ohne jedoch diese Beobachtung weiter zu verfolgen. Durch mich wurde vorher schon nachgewiesen (Engler, Jahrb. Bd. III), dass Stenzelia Göppert

Blattstiele von Medullosen sind, was Solms dann später bestätigen konnte, M. porosa Cotta nichts anderes als eben diese Blattstiele seien.

Schon bei der Untersuchung von Stenzelia stiess ich bei der Untersuchung einzelner Exemplare von Medullosa auf Structurverhältnisse, welche mit dem bisher Bekannten nicht im Einklange standen und mich veranlassten, eine möglichst grosse Anzahl dieser Reste näher zu untersuchen. Allerdings war es mir nicht immer möglich, die den Sammlungen angehörigen Exemplare in geeigneter Weise zu untersuchen; es war mir aber doch möglich, gerade einige der wichtigsten Exemplare in wünschenswerther Weise zur Untersuchung verwenden zu können. Ein anderes nicht zu beseitigendes Hinderniss ist die Erhaltung der Reste. Sehr gut aussehende Exemplare zeigen bei der Untersuchung von Dünnschliffen nicht selten eine mehr oder weniger unzureichende Erhaltung und trifft dies häufig gerade jenes Structurverhältniss, welches für die Entscheidung der Frage der Verwandtschaft der Reste das wichtigste ist. Die Resultate der Untersuchung mit auffallendem Lichte sind wie bei anderen Resten mit erhaltener Structur unsicher, es ist eine ganze Anzahl von Structurverhältnissen nicht zu ermitteln, was auch wohl mit ein Grund ist, weshalb Göppert und Stenzel so Vieles nicht erwähnen, z. B. die Spurbündel ganz mit Stillschweigen übergehen und von ihnen unwesentliche Dinge für wesentlich gehalten wurden. Ungeachtet mein Material ein sehr reiches und zum Theile sehr gutes war, so sind wir noch weit von einer eingehenden Kenntniss dieser Reste entfernt. Weder kennen wir ihre Blätter noch die Fortpflanzungsorgane, wir haben darüber kaum eine Vermuthung, und wenn uns für die letzteren die Structurverhältnisse einen Fingerzeig geben, so fehlt für die ersteren auch dies. Wir wissen nichts über die Entstehung und Entwicklung der Holzkörper, ebenso wenig können wir beurtheilen, wie weit die von den Autoren benutzten Merkmale unterscheidende Charaktere von Arten sind, ebenso wenig wissen wir, ob die verschiedenen Structurverhältnisse mehreren oder nur einer einzigen Gattung entsprechen[1]).

[1]) Die von mir benutzten Exemplare sind Eigenthum der Sammlungen zu Dresden und Berlin, der botanischen Sammlung und der Sammlung der geologischen Landesanstalt zu Leipzig, der städtischen Sammlung zu Chemnitz, der Privatsammlungen des Herrn Apotheker, Fabrikbesitzer Leuckart zu Chemnitz, des Herrn

In der nachfolgenden Auseinandersetzung bespreche ich die einzelnen Formen unter den Ziffern I—V und bediene mich der von Göppert und Stenzel für die einzelnen Gewebegruppen vorgeschlagenen Ausdrücke: Stammmark für die Masse des Stammparenchyms, Partialmark für das centrale Parenchym der einzelnen Holzkörper; Stern-, Platten- und Schlangenringe für die Formen der einzelnen Holzbündel, Ausdrücke, welche nichts präjudiciren und zur kurzen Bezeichnung ganz zweckmässig sind.

Die Reste gehören dem Rothliegenden von Sachsen (Chemnitz, Kohren) und Frankreich (Autun, Val d'Ajol in den Vogesen) an. Myelopitys Cord. von Mühlhausen in Böhmen habe ich in Dünnschliffen nicht untersuchen können.

I.

In der oben erwähnten Abhandlung beschreiben Göppert und Stenzel einen bisher unbekannten, in der Ural'schen Steppe bei Pawlodar nördlich von Semipalatinsk von dem Ingenieur Åberg gefundenen Stammrest als Medullosa Ludwigii. Von dem Finder wurde er Ludwig mitgetheilt und gelangte nach dessen Tod in die Hände des Herrn Leuckart zu Chemnitz, welcher mir die Benutzung des Stückes mit gewohnter Zuvorkommenheit gestattete. Platten des Leuckart'schen Exemplares finden sich in den Sammlungen zu Leipzig (Bot. Institut), Dresden und Breslau. Ein zweites Exemplar kam nach Inhalt eines von Göppert mitgetheilten Briefes von Ludwig in die Hände von Dr. Kloss zu Frankfurt. Nach einer Mittheilung Professor Dr. Geyler's, welcher freundlichst der Nachforschung nach demselben sich unterzog, ist dasselbe in den Sammlungen des Senkenberg'schen Museums in ihrem gegenwärtigen Zustande nicht aufzufinden gewesen. Wünschenswerth wäre es, wenn die Petersburger Sammlungen, in welchen sich Exemplare befinden könnten, diesem Reste ihre Aufmerksamkeit schenkten, da wir vorerst nur auf das Leuckart'sche Exemplar angewiesen sind.

Professor Dr. Grafen zu Solms-Laubach. Einzelne Mittheilungen verdanke ich Herrn Weber zu Chemnitz und Herrn Etzold zu Leipzig. Es ist mir eine angenehme Pflicht, den Vorständen der einzelnen Sammlungen, sowie den genannten Herren meinen lebhaftesten Dank für die freundliche Unterstützung und Förderung meiner Untersuchungen auszusprechen.

Dieses Leuckart'sche Exemplar ist mit Ausnahme des obersten Theiles mit Blattstielbasen bedeckt, welche dort und den oben erwähnten, von diesem Theile abgeschnittenen Platten fehlen, daher sie sich denn auch, und zwar zunächst die in der botanischen Sammlung zu Leipzig befindliche Platte, an den Querschliff des Leuckart-schen Exemplares anschliessen. Göppert und Stenzel haben von dem Leuckart'schen Exemplare eine ungenügende Darstellung Taf. V. Fig. 19 gegeben, weshalb ich Taf. I. Fig. 1 eine neue Abbildung gebe.

Dieses Exemplar ist für die Kenntniss der Medullosen eines der wichtigsten, zunächst deshalb, weil es bis jetzt das einzige mit Blattstielbasen versehene ist, ferner durch den von den übrigen bekannten Medullosen abweichenden Bau. In seinem gegenwärtigen Zustande ist das Exemplar der vierte Theil eines elliptischen, bis zur Stammmitte reichenden Querschnittes mit 65 mm grösserem, 51 mm kleinerem Durchmesser, so dass der Stamm, vollständig gedacht, 130 mm und 102 mm bei 31 mm Höhe messen würde. Die convexe Aussenfläche und eine der Querflächen sind abgerieben, die Längsfläche und der eine Querschnitt (Göppert und Stenzel a. a. O. tab. 4. Fig. 18) sind polirt und lassen die Structur gut erkennen, insbesondere auf dem Querschliff durch den Gegensatz der silberweissen Färbung der Elemente der Holzbündel gegenüber der dunklen Färbung des umgebenden Parenchyms. Auch auf der abgeriebenen Fläche sind die Holzbündel durch den Gegensatz der Färbung erkennbar. Für die Untersuchung von Dünnschliffen konnte ich nur das Exemplar der botanischen Sammlung verwenden, wobei die Längsschliffe von geringer Ausdehnung waren, da die Platte nur 6 mm dick ist.

Dass die Blattstielbasen solche und nicht Blattnarben sind, geht aus ihrem ganzen Verhalten hervor. Sämmtliche in sechs unvollständige Reihen geordnet, stehen in den beiden obersten Reihen zwei der Länge nach durchbrochene Blattstielbasen (Taf. I. Fig. 1a, Fig. 2) und ragen etwa 5—6 mm über die Oberfläche des Stammes vor. Auf ihrer Bruchfläche sind bei der einen zwei, bei der anderen drei Spurbündel sichtbar (Taf. I. Fig. 2 a). Als eine äussere dunkle Zone kann an ihnen ferner die subepidermoidale Sclerenchymschicht, als mechanisches Gewebe functionirend, unterschieden werden (Taf. I. Fig. 2 b). An dem von Blattstielbasen freien Theile des Stammes lassen sich die Austrittsstellen der oben erwähnten Bündel und jene

der verlorenen Blattstielbasen erkennen (Taf. I. Fig. 2c); wie viele jedoch in sie eintreten, welche Aenderungen sie innerhalb der Blattstielbasis erfahren, konnte ich bei dem Fehlen von Quer- und Längsschliffen nicht ermitteln. Ihre Zusammensetzung ist bis zum Eintritte in den Blattstiel dieselbe wie jene der Bündel des Stammes, wie sie auch Abzweigungen der im Stamme gegen die Peripherie verlaufenden Bündel sind (Taf. I. Fig. 3), ferner Taf. I. Fig. 4, 5. Alle übrigen unversehrten Blattstielbasen haben eine querrhombische Abbruchstelle, sie sind dicht aneinander gedrängt und deshalb meist etwas verdrückt.

Dass die Blattstielbasen der Rinde ansitzen, folglich das zunächst nach Innen folgende Gewebe der Rinde angehört, ist selbstverständlich. Es frägt sich nur, wie weit diese nach Innen reicht, wofür wir wegen der beinahe gänzlichen Zerstörung der Gewebe des Stammmarkes und der Rinde keine Anhaltspunkte haben. Wir sind daher auf den Verlauf der Blattspurbündel und die Analogie mit anderen Gattungen angewiesen. Göppert und Stenzel nehmen für die Rinde 1 cm Durchmesser an; wenn man den Ursprung der Blattspurbündel aus den peripherischen Bündeln als die innere Grenze der Rinde betrachtet, so wird ihr Durchmesser kaum 6 mm überschreiten. Die meisten der zu den Blättern gehenden Bündel liegen in der von mir angegebenen Entfernung von der Peripherie des Stammes, wie dies Göppert und Stenzel a. a. O. tab. 4, Fig. 18—20 auf dem Querschnitte des Leuckart'schen Exemplares richtig darstellen, welchem der Querschnitt der Platte des botanischen Institutes zu Leipzig genau entspricht und können sie sicher bis zur Peripherie verfolgt werden. Auf der abgeriebenen rohen Querfläche des Leuckart'schen Exemplares treten übrigens zwei gegen die Peripherie des Stammes verlaufende Bündel, etwa 15—18 mm von ihr entfernt, aus, von welchen ich jedoch nicht sagen kann, ob sie zu Blättern gehen (Taf. I. Fig. 9 A, B). Alle zu den Blättern gehenden Bündel verhalten sich bei dem Austritte aus dem Holzbündel, welchem sie entspringen, gleich. In dem Ausschnitte eines Stern- oder Plattenringes liegt der abgehende Bündel, wenn die Abgangsstelle getroffen wurde; ist er etwas höher getroffen, so ist der Holzbündel unverändert, der abgehende liegt neben ihm (Taf. I. Fig. 6—10). Auf dem Längsschnitte gesehen erscheinen sie als einfache Abzweigungen der Holzbündel, wie bei allen Axentheilen (Taf. I. Fig. 3—5). Zuerst steigen sie in einem kurzen Bogen

aufwärts und verlaufen dann horizontal (Taf. I. Fig. 3 a, 4 a, 5 a). Der Längsschliff des Leuckart'schen Exemplares zeigt dies sehr deutlich (Taf. I. Fig. 3 a). Eine Aenderung in der Zusammensetzung der Bündel findet nicht statt, ihre Quer- und Längsschliffe verhalten sich wie jene des Stammes.

Im Stammmarke verlaufen vielfach verzweigt und unter sich verbunden die Holzbündel. Es sind durchgängig im Querschnitt entweder kreisrunde Sternringe und plattenförmige, grössere oder kleinere Plattenringe von durchaus gleichem Bau, über den ganzen Querschnitt des Stammes vertheilt. Jeder hat sein besonderes spärliches Mark, das Partialmark, welches wie das Stammmark schlecht erhalten ist. In dem ersteren Falle sind es demnach cylindrische Stränge, im letzteren Holzplatten von verschiedener Breite; die Unterbrechungen, welche an den letzteren ab und zu wahrgenommen werden, sind der Erhaltung zuzuschreiben, es sind zerrissene Stellen durch Fäulniss veranlasst. Radiäre Reihen von Tracheiden mit Netztüpfeln umgeben das Partialmark, eine, zwei oder zuweilen drei Reihen, durch schmale Zonen von Strahlenparenchym geschieden, breitere Zonen desselben Parenchyms liegen dann zwischen grösseren keilförmigen Gruppen. Nicht selten ist das an das Partialmark anstossende Strahlenparenchym in die Quere gezogen und besser erhalten als an den übrigen Stellen. Dies Verhalten des Strahlenparenchyms kann im Zusammenhange stehen mit einem vom Marke ausgehenden Dickenwachsthum, in dessen Folge tangentiale Streckung in ihm stattfand. Die Strahlen sind meist einreihig, in der Mitte zweireihig, drei- bis fünfreihige liegen zwischen den Holzkeilen, ihre Höhe ist oft bedeutend, es kommen aber auch Strahlen von einer bis vier Zellen Höhe vor. In der Radialrichtung sind diese Zellen länger als in der senkrechten, die Horizontalwände häufig unvollständig erhalten (Taf. I. Fig. 12—14). Die Bastzone ist an allen untersuchten Holzbündeln zerstört, sie fehlt wie jedes andere Gewebe, welches etwa vorhanden sein könnte (Taf. I. Fig. 11).

Der Verlauf der Holzbündel, mögen sie die eine oder andere Querschnittform haben, ergiebt sich mit vollständiger Sicherheit auf dem durch die Mitte der Axe geführten Längsschnitte des Leuckart-schen Exemplares, auf welchem eine Anzahl solcher Bündel freigelegt ist, und würde das Gleiche auch bei den davon abgeschnittenen

Platten der Fall sein, wären dieselben stärker. Wie Taf. I. Fig. 3b zeigt, verlaufen die Bündel parallel mit der Längsaxe des Stammes, und geben während ihres Verlaufes Aeste nach allen Richtungen ab, welche sich mit den Verzweigungen anderer Bündel oder mit anderen Bündeln vereinigen. So entsteht ein in das Stammparenchym eingebettetes Netz von Bündeln, dessen Zwischenräume von dem ersteren ausgefüllt sind. Merkwürdiger Weise haben Göppert und Stenzel diesem Längsschliff des Leuckart'schen Exemplares keine besondere Beachtung geschenkt, obwohl er von Bedeutung ist und den Verlauf der Bündel klar darlegt. Durch ihn erklärt sich die Verschiedenheit der Querschnittsform der Holzbündel, ihre wechselnde Form auf zwei aufeinander folgenden Flächen. Leider habe ich bei anderen Arten ein ähnlich vollständig erhaltenes Material und ähnliche Längsschnitte von grösserer Ausdehnung nicht zur Disposition gehabt, das Wenige, was ich gesehen, lässt mich aber vermuthen, dass die im Stammmark verlaufenden Bündel sich ähnlich verhalten. Weitere Längsschliffe habe ich von der im Besitze des botanischen Institutes zu Leipzig befindlichen Platte anfertigen können (Taf. I. Fig. 4, 5). Aus ihnen ergiebt sich, dass die Verzweigungen des Holzbündels sich verhalten wie bei der Mehrzahl der Pflanzen, womit denn auch ein Fingerzeig für ihre Entstehung gegeben ist. Auch Schlingenbildung fehlt nicht (Taf. I. Fig. 15).

Der Bau des Holzbündels der M. Ludwigii stimmt mit einer einzigen Ausnahme in all' seinen Einzelheiten mit jenem der anderen Arten überein. Was ihm jedoch fehlt, oder wenigstens nicht mit Sicherheit auf den Querschnitten nachzuweisen ist, ist die Tracheidengruppe der radiären Tracheidenreihen an ihrem an das Mark anstossenden Ende, welche als Primärholz bei allen übrigen Arten sich findet. Bei der sonstigen Uebereinstimmung des Baues möchte ich an dessen Vorhandensein nicht zweifeln, und sein Fehlen nur durch die Erhaltung bedingt halten. Solms und ich haben bei anderen dasselbe früher schon beobachtet, aber wie ich aus dessen mir freundlichst zur Ansicht mitgetheilten Dünnschliffen sehe, haben wir sie beide in dem gleichen Erhaltungszustande gesehen und hielten die im Partialmark liegenden Tracheiden für Elemente desselben, während sie dem Holzkörper angehören. Künftige Untersuchungen müssen darüber Aufschluss geben, ob Primärholz bei M. Ludwigii wirklich

fehlt, dass es vorhanden sein kann, dafür scheint ein Längsschliff durch einen Plattenring zu sprechen, welcher Treppentracheiden enthält (Taf. I. Fig. 16 b). Aus solchen besteht aber das Primärholz bei den anderen Arten. Durch das gänzliche Fehlen der grossen peripherischen Platten- und Schlangenringe, die allein vorhandenen markständigen Stern- und kleineren Plattenringe, sowie durch den Verlauf der nach den Blättern gehenden Blattspurbündel unterscheidet sich M. Ludwigii Göpp. und Leuckart von den übrigen Medullosen. Dem Durchmesser nach gehörte das Fragment einem älteren Stamme an und tauchen bei Betrachtung desselben im Vergleich mit den übrigen Medullosenstämmen Fragen auf, welche nach dem vorliegenden Materiale nicht zu beantworten sind. Einmal, erfahren die vorhandenen Stern- und Plattenringe noch ein weiteres Dickenwachsthum, wie dies z. B. bei M. stellata Cotta wahrscheinlich ist? Sodann ist das Vorhandensein der Plattenringe an der Peripherie bei M. stellata Cotta und M. Leuckarti Göpp. et Stenzel eine Folge des Dickenwachsthums älterer Stämme und kann es bei M. Ludwigii noch eintreten, oder ist beides eine Eigenthümlichkeit generisch verschiedener Stämme und ist aus dem gleichen Grunde der Verlauf der Blattspurbündel, soweit wir ihn kennen, bei M. Ludwigii ein anderer als jener der übrigen Arten? Die Blattspurbündel biegen bei der zuletzt genannten Art aus senkrecht verlaufenden Strängen (Taf. I. Fig. 3a, 4a) seitlich ab und treten nach kurzem Verlaufe in die Blattstielbasen, ohne irgend eine Aenderung zu erfahren. Durchaus anders verhält sich der Blattspurbündel, wie wir sehen werden, bei den anderen Arten. Bis zum Eintritt in den Blattstiel erfährt der Blattspurbündel bei M. Ludwigii nur insoferne eine Aenderung, als er weniger reich an Elementen ist, er verhält sich wie die meisten zu den Blättern gehenden Bündel der Gymno- und Angiospermen. Ueber die anderen Fragen können wir nicht einmal eine Vermuthung aussprechen, aber meines Erachtens lässt sich mit Sicherheit annehmen, dass die sämmtlichen Holzbündel ihre Entstehung Pleromsträngen im Bildungsgewebe der Stammspitze verdanken und nicht dem von Göppert und Stenzel angenommenen Bildungsvorgange, auf welchen ich später noch zurückkommen werde. Schliesslich liegt der Kern der Frage darin: Ist Medullosa Ludwigii eine Medullosa im Sinne von M. stellata und Leuckarti oder ist sie eine eigene

Gruppe derselben oder aber gehört sie nicht zu diesen und schliesst sie sich anderen Formen an? Die Beantwortung dieser Frage hängt ab von der Kenntniss der Fortpflanzungsorgane und ob die Holzbündel ein primäres Holz besitzen oder nicht. Beide Fragen können wir nicht beantworten; haben sie letzteres, so muss M. Ludwigii den Archegoniaten angereiht werden, wenn nicht, so ist es möglich, dass sie den Gymnospermen angehört und eine Gruppe derselben darstellt, bei welcher isolirte, verzweigte, mit Mark und Bast versehene, cylindrische und plattenförmige Holzbündel den Stamm zusammensetzen, dessen Dickenwachsthum vielleicht durch eine Cambialzone vermittelt wird.

Die isolirten, durch das ganze Parenchym zerstreuten Holzbündel, ihre Verzweigungen, wodurch sie an die markständigen Bündel von Encephalartos erinnern, können verleiten, diese Reste als den Cycadeen näher stehend anzusehen, als die übrigen, bei welchen das Primärholz nirgend fehlt, wenn man es auch oft genug vergeblich suchen wird. Die Aehnlichkeit mit Encephalartos ist rein äusserlich; was alle diese Reste, so auch diesen von den Cycadeen trennt, ist der Bau der einzelnen Holzkörper, wie ihn die Untersuchung ergeben hat. Käme dazu noch das Vorhandensein von Primärholz, was nach dem oben erwähnten Längsschnitt möglich ist, so kann von Cycadeen noch weniger die Rede sein. Einen solchen Bau besitzen nur die Archegoniaten, aber von allen bekannten Stammresten dieser Abtheilung trennt sie ebenfalls der Bau des Holzes. Für die Annahme einer intermediären Form fehlt es uns ebenfalls an Grundlagen und wird man sich vorerst begnügen müssen, die Reste hinsichtlich ihrer Stellung als zweifelhaft anzusehen.

II.

Mit Medullosa Leuckarti Göpp. und Stenzel beginnt die Reihe jener Stammreste, welche mehr oder weniger mit Medullosa stellata Cotta, der typischen Art, übereinstimmen und nur solche Differenzen aufweisen, von welchen wir vermuthen dürfen, dass sie Arten- oder Gruppenunterschiede sind. Auch bei ihnen sind wir nur auf die Structur der Reste angewiesen, Fortpflanzungsorgane wie Blätter fehlen. Selbst, wenn letztere bekannt wären, so würde damit nicht allzuviel gewonnen sein, da z. B. die Gruppe der Cycadeen zwei

Gattungen aufweist, Stangeria und Bowenia, deren erstere vor dem Auffinden ihrer Blüthen als Farn, die andere als Aroidee betrachtet wurde. Von Medullosa Leuckarti Göpp. und Stenzel kennen wir das Fragment eines Blattstieles, von M. stellata Cotta enthält die städtische Sammlung zu Chemnitz und die palaeontologische Sammlung zu Berlin, jede ein Exemplar mit Blattstielresten, alle zusammenhängend mit dem Stamme. Bei Gelegenheit der kritischen Untersuchung der als selbstständige Gattung Stenzelia bezeichneten Reste (Engler's Jahrbücher. Bd. 3, pag. 156. 1882) habe ich auf diese Exemplare hingewiesen, jedoch diese Reste wie Medullosa für Cycadeenreste erklärt, was sie, wie sich zeigen wird, nicht sind. M. Leuckarti liefert einen weiteren Beweis, dass die Stenzelien Blattstiele der Medullosen sind. Wie Solms schon bemerkt hat, ist der Blattstiel an seinem oberen Ende jetzt angeschliffen und setzt seine Untersuchung es ausser Zweifel, dass er einen mit Stenzelia identischen Bau besitzt. Der Liebenswürdigkeit des Besitzers verdanke ich die Möglichkeit der Untersuchung, welche Solms seiner Zeit mit dem gleichen Resultate vorgenommen hat (Einleitung in die Phytopalaeontologie pag. 164). Welche der von Renault unterschiedenen Arten hierher gehört, weiss ich nicht zu sagen, da mir der Bau der Peripherie bei der Untersuchung mit auffallendem Lichte nicht ganz klar geworden. Die Herstellung eines Dünnschliffes würde diese Frage ohne Schwierigkeit lösen. Bei dem Zusammenhange dieser Blattstiele mit Medullosa kann nicht mehr die Rede davon sein, dass sie den Cycadeen angehören, da dies für die Medullosen auch nicht gilt. Welcher Gruppe sie angehören, bleibt offen, bis die Stellung von Medullosa entschieden. Renault und Williamson erklären diese Reste für Farnblattstiele, was nach gewissen Structureigenthümlichkeiten der Medullosen möglich ist, aber jedenfalls wäre die Gruppe jetzt ausgestorben. Dass der an dem Leuckart-schen Exemplare ansitzende Theil, welchen Göppert und Stenzel auf Taf. 3 ihrer Abhandlung gut abbilden, ein Blattstielfragment, kein Ast ist, wie die Verff. annehmen, geht aus der Verbindung desselben mit dem Stamme ohne Weiteres hervor. Er erinnert an die den Stamm theilweise umfassenden Blattstielbasen der Marattiaceen und harmonirt also mit der Stellung unter den Archegoniaten, welchen die Medullosen überwiesen werden müssen. Ob der von Göppert

und Stenzel für ihn in Anspruch genommene Plattenring am Aufbau des Blattstieles Antheil hat, ist nicht zu entscheiden, ehe nicht Dünnschliffe aus dieser Region untersucht sind. Nach dem, was sich später hinsichtlich der Blattspurbündel ergiebt, ist es nicht wahrscheinlich. Noch liegen mir zwei weitere Exemplare dieser Art mit einer grösseren Anzahl von Schlangenringen vor, wie ich vermuthe, Stücke ein und desselben, und nach dem Durchmesser und der Zahl der Plattenringe zu urtheilen, eines älteren Stammes. Den einen, Eigenthum der Sammlung der geologischen Landesuntersuchung von Sachsen, verdanke ich der freundlichen Mittheilung des Herrn Professor Dr. Credner, den anderen Herrn Weber zu Chemnitz.

Von dem Leuckart'schen Exemplare unterscheidet sich dieser Stamm durch den bedeutenderen Durchmesser. Wie jener im Querschnitt durch Druck elliptisch, verhält sich der grössere Durchmesser zum kleineren wie 144 mm zu 51 mm. Es ist nur die eine Hälfte der Ellipse, welche vorliegt; vollständig erhalten würde der Stamm von nicht unbeträchtlicher Dicke sein. Die Zahl der die Sternringe und das Stammmark umgebenden Schlangenringe ist grösser, es sind deren fünf, und verdanken sie ihre Entstehung wahrscheinlich einem Dickenwachsthum durch Neubildung, nachdem der dem Stammmark zunächst liegende und die Sternringe entstanden waren (Taf. III. Fig. 47 St, Pr). Auch bei den Sternringen, deren fünf vorhanden sind, lässt sich ein solcher Vorgang vermuthen. Im Vergleiche zu den Sternringen des Leuckart'schen Exemplares ist auch ihr Durchmesser bedeutender, etwa 10 mm, und verdanken sie dies vielleicht einem Dickenwachsthum. Allerdings kann man auch sagen, es sei der grössere Durchmesser der Sternringe eine Eigenthümlichkeit dieser Art, allein dem widerspricht das Leuckart'sche Exemplar. Ein Fragment mit ähnlichen Sternringen (Taf. I. Fig. 23) von 10—20 mm Durchmesser, von welchem sich jedoch nicht sagen lässt, zu welcher Art es gehört, besitzt Graf zu Solms-Laubach, welcher mir es freundlichst zur Ansicht mittheilte. Unter den Sternringen ist einer (Taf. III. Fig. 47 a), welcher den Eindruck macht, als sei er dicht über der Theilungsstelle durchschnitten. Dass solche verzweigte Sternringe vorkommen, wird sich später ergeben, es darf also wohl auch hier angenommen werden. Endlich erhält man den Eindruck, als erfolge die Theilung in ähnlicher Weise, wie bei der Dichotomie des axilen

Bündels der Lepidodendron-Arten und werden wir bei einer andern Art diesem Vorgange bei den Blattspurbündeln begegnen. Zunächst sind die Sternringe auf der einen Seite von einem Schlangenringe umgeben, und entsprach auf der fehlenden Stammseite diesem ein zweiter ähnlicher, dessen geschlossenes Ende an einer Stelle sichtbar ist (Taf. III. Fig. 47 Pr, b). Alle Schlangenringe sind mehr oder weniger wellig gebogen und frägt es sich, wie weit Druck und Verschiebungen daran Antheil haben. Göppert und Stenzel legen zwar diesen welligen Biegungen eine ganz andere Bedeutung bei, ich werde den Nachweis liefern, dass die von ihnen vertretene Ansicht auf falscher Grundlage beruht. Dass Druck stattgefunden hat, geht aus den Verschiebungen der Tracheidenreihen hervor, dass derselbe an den beiden zuletzt genannten Exemplaren ebenfalls vorhanden war, aus der Trennung eines der Plattenringe (Taf. III. Fig. 47 b). Haben die Sternringe ein Dickenwachsthum, sind die an älteren Stämmen sehr starken welligen Biegungen Folge des Drucks, so kann von einer Trennung dieser Stämme von M. stellata Cotta keine Rede sein, es sind dann Altersverschiedenheiten einerseits, andererseits Erhaltungszustände. Der zwischen den peripherischen Plattenringen liegende vereinzelte Sternring (Taf. III. Fig. 47 b), welcher auf der entgegengesetzten Seite des Exemplares fehlt, scheint von einem der benachbarten sich abzuweigen, da ihm gegenüber (c) eine Lücke des Plattenringes liegt. Möglich ist es aber auch, dass er sich von diesem durch Druck abgelöst hat, für welchen Vorgang man die Störung in der Lage der Radiärreihen geltend machen kann. Ein bei den Plattenringen nicht seltener Gegensatz zwischen der Mächtigkeit der nach der Aussen- und Innenseite hin liegenden Holzzone ist allerdings bei dieser Art wenig auffällig, die äussere Seite des Holzes ist indess doch stärker entwickelt als die innere.

Was nun den Bau der Stern- und Plattenringe betrifft, so ist er im Allgemeinen derselbe wie bei allen Medullosen. Stern- wie Plattenringe sind, jeder einzelne für sich abgeschlossen, durch die einzelnen Markschichten des Stammmarkes getrennt, jeder enthält sein Partialmark, um welches ein aus radiär geordneten Tracheiden bestehendes, von Strahlenparenchym durchsetztes Holz gelagert ist. Die Rinde ist bei allen von mir untersuchten Exemplaren schlecht erhalten, nur an einzelnen Stellen ist das Parenchym erhalten, meist

ist es zerstört oder stark zusammengedrückt. Eingelagert sind in das Rindenparenchym cylindrische Sclerenchymbündel, neben ihnen noch andere Bündel, welche ich nach Analogie der bei M. stellata vorkommenden für Blattspurbündel halte. Sämmtlich sind sie schlecht erhalten, ein besser erhaltener der letzteren (Taf. I. Fig. 17 Tr) besteht aus Tracheiden und einer Gruppe dünnwandiger Zellen (P). Noch ausgedehntere Zerstörung hat das Partialmark erfahren, in ihm liegen quer durchschnitten oder der Länge nach einzelne Tracheiden und Tracheidenbündel, ferner einzelne dickwandige Zellen. Es frägt sich, welche Bedeutung diese Tracheiden und Tracheidenbündel haben. Die radiären Reihen der das Holz der Stern- und Plattenringe bildenden Netztüpfel-Tracheiden enden, wenn sie gut erhalten, an dem dem Mark zugekehrten Ende mit einer Gruppe von Treppentracheiden, und sind es entweder eine oder mehrere Tracheidenreihen, welche mit einer solchen Gruppe abschliessen (Taf. I. Fig. 18, 21). Da nun die Mehrzahl der Exemplare von Chemnitz hinsichtlich ihrer Erhaltung viel zu wünschen übrig lässt, so ist der Fall nicht häufig, dass die Verbindung der Tracheidengruppen und der radiären Tracheidenreihen noch erhalten ist, sie sind ganz oder theilweise losgelöst, in das Partialmark oder auch in einen breiteren Markstrahl verschoben. So kann man, wenn man Schliffe von geringer Ausdehnung macht, sie constant vermissen, bei Schliffen, welche eine grössere Ausdehnung haben, kann dies wohl auch der Fall sein, jedoch nach meinen Erfahrungen gewiss seltener. Auch mit auffallendem Lichte nimmt man sie, wenn gut erhalten, bei guter Beleuchtung wahr, so mit Oc. 2, Syst. B. B. C. C. eines Zeiss'schen Instrumentes. Was also Solms und ich über das Vorkommen einzelner Tracheiden im Partialmark gesehen, ist ein unzureichender Erhaltungszustand gewesen, für mich war es die Veranlassung, auf den Bau der Medullosen näher einzugehen. Die Bastlagen der einzelnen Holzkörper sind grossentheils schlechter als die Tracheiden erhalten, ihre Anordnung übrigens vielfach gestört. Dass diese unmittelbar an das Mark angrenzenden Tracheidenbündel als Primärholz oder Primärbündel nach Analogie anderer fossiler Stämme, wie z. B. Sigillaria, Lyginodendron, zu bezeichnen sind, ist ausser Frage, ebenso dass die radiär geordneten Tracheidenreihen Secundärholz sind. Aus diesen Tracheidengruppen nehmen die Spurbündel der Blätter ihren

Ursprung, wie dies an einer Stelle bei der in Rede stehenden Art der Fall ist und bei der folgenden wegen der besseren Erhaltung dieser Bündel näher erörtert werden soll.

III.

Die Mehrzahl der bei Chemnitz vorkommenden Medullosenstämme gehört zu M. stellata Cotta. Dies ist auch der Grund, weshalb sie in den Sammlungen am häufigsten vorkömmt und den grössten Theil des untersuchten Materials lieferte. Hinsichtlich der Erhaltung ist sie gegenüber den anderen nicht bevorzugt. Göppert und Stenzel haben a. a. O. eine Anzahl Varietäten unterschieden, welche ich zum grössten Theile in den Originalen untersucht habe. Varietäten im Sinne der Systematik sind diese nicht, es sind Erhaltungszustände, Altersverschiedenheiten oder beides zusammen und kann bei den ersteren die Abstufung der Zerstörung und Verschiebung der einzelnen Gewebe an demselben Exemplare sehr verschieden sein. M. stellata var. minuta habe ich in einem Exemplare von Grafen zu Solms-Laubach erhalten: zu M. stellata gehört es nicht, sondern zur folgenden (IV.) Art. Für die Untersuchung ist es werthlos, wohl aber kann es als Beispiel beinahe vollständiger Zertrümmerung der Holzplatten dienen. Das von Göppert und Stenzel Taf. 2. Fig. 7 abgebildete Exemplar ist ein Stammstück der M. stellata von geringem Durchmesser, dem oberen Theile eines Stammes angehörend, wie man sich ohne Schwierigkeit an einer grösseren Anzahl von Exemplaren überzeugen kann. Seine Erhaltung ist unzureichend, durch den geringen Durchmesser ist es jedoch von Interesse. M. stellata var. interrupta (Göpp. et Stenzel a. a. O. tab. 2. Fig. 11) ist ein Fragment der M. Leuckarti, Cotta's M. stellata Fig. 2, tab. 13, M. stellata var. recurrens Göpp. et Stenzel, welche ich früher zu Berlin untersuchte, ist mir jetzt nicht zugänglich, das Exemplar zeichnet sich durch stärkere Druckwirkung aus, von Zuwachszonen ist keine Rede, es sind diese concentrischen Linien nichts weiter als die bekannten Verschiebungen von Tracheidenreihen, verdrückte Stellen, Farbenänderungen, wie sie allen fossilen Hölzern zukommen und bei oberflächlicher Untersuchung für Zuwachszonen gehalten werden. Dass der Schluss des äusseren Plattenringes fehlt, hat wohl seinen Grund darin, dass er unvollständig ist. Mougeot

bildet in der oben erwähnten Abhandlung ein ähnliches Exemplar ab (Taf. 3. Fig. 8), welches einer genaueren Untersuchung bedürfte. Möglicherweise ist auch hier ein Spurbündel vorhanden, welche zwar nicht allgemein, aber auch nicht so ganz selten sind. Zu den besten von mir untersuchten Exemplaren gehört ein im Besitze des Herrn Weber befindliches Exemplar, von welchem ich einen Querschliff besitze. In der nachfolgenden Erörterung habe ich es vorzugsweise im Auge, weil es zugleich das vollständigste der mir bekannten Exemplare dieser Art ist.

Wie die meisten Medullosenstämme ist auch dieser durch Druck elliptisch, es fehlt ihm jedoch der dritte Theil der Ellipse, der grössere Durchmesser beträgt 45 mm, der kleinere 26 mm. Die Rinde des Exemplares ist zum Theile erhalten, ihr Parenchym jedoch grossentheils zerstört, erhalten sind aber zahlreiche cylindrische, im Querschnitt kreisrunde Sclerenchymbündel, deren Gruppen, in zwei Zonen durch die Rinde vertheilt, bis zur äusseren Grenze des Plattenringes reichen und mit Tracheidenbündeln untermengt sind (Taf. I. Fig. 22. Taf. II. Fig. 36). Erstere sind das mechanische Element der Rinde, letztere die Blattspurbündel. Was nun des Weiteren auffällt, sind die in dem schlecht erhaltenen Stammmark liegenden Sternringe, deren radiäre Tracheidenreihen unter sich viel weiter abstehen und in ihrem Partialmark Tracheiden des Holzes, einzelne und Gruppen der Treppentracheiden enthalten. Die weitgehende Zerstörung des Stammmarkes und des Strahlenparenchyms ist ohne Zweifel der Grund dieser Störung der Anordnung. Ein von Professor Grafen zu Solms-Laubach mir mitgetheiltes Exemplar zeigt auf der einen Querschnittsfläche (Taf. II. Fig. 33) einen der Länge nach durchschnittenen, verzweigten markständigen Sternring, auf der entgegengesetzten Fläche einen biscuitförmigen und andere markständige Sternringe, deren Verhalten offenbar auf Verzweigung hinweist (Taf. II. Fig. 32 I, II). Bei einem grossen Theile der Tracheidenreihen liegt wie bei der vorausgehenden Art an dem dem Partialmarke zugekehrten Ende eine Tracheidengruppe. Es ist nur ein einziger peripherischer Holzkörper vorhanden, im Ganzen gut erhalten, und auch hier findet man an dem dem Partialmarke zugekehrten Ende der Tracheidenreihen die Tracheidengruppen, entweder im Verbande mit den Reihen oder in das Partialmark verschoben im Quer- und Längsschnitt. Sämmtlich

sind sie Treppentracheiden. Partial- wie Stammmark führen ebenfalls wie die Rinde Sclerenchymbündel, aber meist schlechter erhalten. Auch bei dieser Art also findet sich wie bei voriger Primär- und Secundärholz. Weniger gut erhalten, weniger häufig habe ich diesen Bau auch bei anderen Exemplaren getroffen, um so sicherer, je grösser die Schliffflächen waren (Taf. II. Fig. 24, 25).

An mehreren Stellen ist die äussere, nach der Rinde hin liegende Zone des Plattenringes durchbrochen, zum Theile von schlecht erhaltenem Parenchym, zum Theile von einem grösseren oder kleineren Tracheidenbündel, der erstere mit einigen Reihen Strahlenparenchyms, sämmtlich im Längsschnitt. Diese Tracheidenbündel entspringen aus den ihrer Austrittsstelle zunächst liegenden Tracheidenbündeln des Primärholzes, wie dies bei anderen Stämmen der Archegoniaten der Fall ist (Taf. II. Fig. 35). Ihr verschiedenes Verhalten hat ohne Zweifel seinen Grund darin, dass im ersteren Falle nur das begleitende Parenchym, im letzteren der Spurbündel selbst von dem Schnitte getroffen ist. In weiterer Folge finden sich in den dem Partialmarke näher liegenden Theilen des Holzes Querschnitte von Tracheidenbündeln, welchen dann im äusseren Theile des Holzes solche folgen, deren Tracheidenbündel zur Hälfte von Secundärholz umgeben ist, während die zunächst in der Rinde folgenden ringsum von Secundärholz umgeben sind. Dieses Secundärholz stimmt mit jenem der Stern- und Plattenringe überein, jedoch sind seine Elemente kleiner. Die noch weiter nach aussen in der Rinde folgenden Bündel erfahren durch Einschiebung von Parenchym eine Sonderung, Theilung in zwei Bündel, jeder mit Secundärholz, anfangs durch einen schmalen, später durch einen breiteren Parenchymstreifen getrennt. Zuletzt scheinen beide, jeder nochmals eine Theilung in dem äussersten erhaltenen Theile der Rinde zu erfahren, jedoch die schlechte Erhaltung der Rinde theilend (Taf. I. Fig. 19, 20. Taf. II. Fig. 27—31). Der Verlauf dieser Blattspurbündel kann kaum ein anderer sein: nach kurzem horizontalen Verlaufe noch innerhalb des secundären Holzes steil aufsteigend, dann in die Rinde austretend, in der Rinde weiter bis zur Blattbasis verlaufend und wahrscheinlich erst kurz vor dem Eintritt in dieselbe die steil aufsteigende Richtung ändernd. Würde die Rinde häufiger und besser erhalten sein, als dies thatsächlich der Fall, wäre sie an Sammlungsexemplaren, wie es scheint, nicht absichtlich ihres unschönen

Aussehens wegen entfernt, so würden Exemplare mit vollständigen Spurbündeln ohne Zweifel häufiger sein. Denn auch an anderen Exemplaren habe ich das Austreten und den Verlauf der Spurbündel innerhalb des Secundärholzes beobachtet, allerdings weniger vollständig (Taf. II. Fig. 35). Das ganze Verhalten derselben erinnert an jene von Lyginodendron, deren Verlauf wahrscheinlich jenem der Medullosen nahe steht, so dass diese beiden Gattungen nur durch den Bau des Holzkörpers geschieden sind. Die ungleiche Entwicklung der äusseren und inneren Zone der Plattenringe ist bei M. stellata Cotta nicht selten, der Durchmesser der ersteren kann bis zu 30, 40 und 70 mm steigen, während die innere Zone 5—6 mm misst. Ebenso häufig sind die sogenannten Zuwachszonen insbesondere bei solchen Exemplaren mit stark entwickelter Aussenseite, stets aber erweisen sie sich nicht als solche, sondern, wie bemerkt, als Verschiebungen, Lageänderungen, verschiedene Färbungen, Faltungen und Verdrückungen. Wundern muss man sich, dass Dinge, welche längst aufgeklärt sind, noch immer in der Palaeontologie beibehalten werden. Die Bastlagen der Stern- und Plattenringe sind zuweilen gut, sehr oft aber auch schlecht erhalten, häufig ist ihre Erhaltung wie die anderer Gewebe auf derselben Fläche und in verschiedenen Höhen desselben Exemplares eine sehr verschiedene. Beispielshalber sei ein Herrn Etzold gehöriges Stück erwähnt, dessen beide peripherische Holzkörper zertrümmert der Quere und Länge nach durchschnitten sind, während die markständigen Sternringe kaum eine Veränderung zeigen. Die Besprechung der Beziehungen der Medullosenstämme zu anderen recenten und fossilen Stämmen mag später folgen.

IV.

Die Sammlungen zu Chemnitz, die städtische und jene Herrn Leuckart's und Herrn Weber's, die botanische Sammlung zu Leipzig besitzen Exemplare einer Medullosa, welche weder mit M. Leuckarti, noch mit M. stellata vereinigt werden kann, es sei denn man nimmt irgend einen willkürlich ersonnenen Entwickelungsgang des Holzkörpers an. Ich kann sie daher nur als eine besondere Form behandeln, bis spätere Funde über diesen, wie es scheint, nicht häufig vorkommenden Stamm weitere Aufschlüsse geben. Ihr Erhaltungszustand ist, wie der aller Medullosen, an einzelnen Stellen sehr gut,

an anderen Stellen das Gegentheil, aber im Ganzen bei allen von mir gesehenen Exemplaren ein für die Untersuchung brauchbarer. Eines der ausgezeichnetsten Exemplare besitzt die städtische Sammlung zu Chemnitz, zugleich das längste, welches ich kenne, dessen Benutzung ich der Freundlichkeit Dr. Sterzel's verdanke. Zunächst zeichnet es sich dadurch aus, dass die spiralige Stellung der Blätter an ihm sichtbar ist, da die Austrittsstellen der Blattspurbündel erhalten sind (Taf. III. Fig. 49), ferner, da die eine Seite der Länge nach angeschliffen und eine dünne Schicht des Holzkörpers abgeschliffen ist, liegt der Durchtritt der Spurbündel durch das äussere Secundärholz frei, dessen Tracheidenreihen nach den Seiten auseinander tretend den Spurbündeln Raum geben. Wie der Verlauf dieser Bündel innerhalb des Holzes ist, kann ich nicht angeben, da ein demgemäss orientirter Längsschnitt fehlt, dessen Anfertigung nicht allein deshalb, sondern auch des Verlaufes der Holzbündel wegen von Interesse wäre. Das Exemplar hat eine Länge von 70 mm, sein Durchmesser beträgt 63 zu 52 mm, der Querschnitt wie beinahe immer eine Ellipse. Die Rinde ist entfernt. Dünnschliffe habe ich von im Besitze des Herrn Weber und der botanischen Sammlung zu Leipzig (Taf. III. Fig. 48) befindlicher Exemplare untersucht, letzteres der Abschnitt eines Exemplares der Leuckart'schen Sammlung. Im Querschnitt elliptisch beträgt sein grösserer Durchmesser 64 mm, der kleinere 44 mm. Auch diesem Exemplare fehlt die Rinde, der peripherische Plattenring bildet die Aussenfläche, leider durch Verwitterung vielfach zerstört. Ferner ist diese Medullosa, und darin liegt ihr hervorragendster Unterschied, durch ihren Bau ausgezeichnet. Einmal enthält das Stammmark in zwei peripherischen Zonen gelagert, kleine, kaum 1 mm im Durchmesser messende Tracheidenbündel, welche in den Einzelheiten ihres Baues mit den Sternringen übereinstimmen (Taf. II. Fig. 37). Meist sind sie, ohne Zweifel durch Druck, elliptisch, im Ganzen nicht besonders gut erhalten. Neben ihnen kommen im Querschnitt kreisrunde Sclerenchymbündel vor, gegen das Centrum der Zahl nach überwiegend. Makroskopisch sind beide nur als hellere oder dunklere Punkte sichtbar, je nach ihrer Erhaltung (Taf. III. Fig. 48 c). Das Stammmark ist nur stellenweise erhalten, seine Zellen etwas gestreckt, polygonal. Die Peripherie des Stammmarkes ist eingenommen von 11—13 kleineren und grösseren Plattenringen,

zwischen welche sich das Stammmark fortsetzt, jeder in sich geschlossen mit Partialmark und Bast, an einzelnen Radiärreihen das Primärholz als Tracheidengruppe erhalten, das Secundärholz wie jenes der übrigen Medullosen, im Partialmark Sclerenchymbündel. Getrennt durch ein mit dem Stammmark übereinstimmendes Parenchym folgt bei allen von mir gesehenen Exemplaren ein einziger Plattenring mit vielfach beschädigter Aussenfläche und seinem Partialmarke, noch weniger gut erhalten als die kleineren Plattenringe der inneren Zone. So sind denn auch hier die Tracheidenbündel der Radiärreihen nur vereinzelt erhalten. Exemplare von besserer Erhaltung der Peripherie wären sehr erwünscht, um über den Bau derselben noch weitere Aufschlüsse zu erhalten, zumal als bei einem arg zerstörten zweiten Weber'schen Exemplare noch ein zweiter peripherischer Plattenring vorhanden zu sein scheint. Austrittsstellen der Blattspurbündel sind an allen von mir gesehenen Exemplaren, überall jedoch von schlechter Erhaltung. Hierher gehört auch das Solms'sche Exemplar der M. stellata Cotta, var. minuta Göpp. et Stenzel, allerdings arg zerstört. Meines Erachtens lassen sich die besprochenen Reste mit keiner der bekannten Arten vereinigen, da wir nicht wissen, welches das endliche Schicksal der kleinen Tracheidengruppen im Stammmarke ist, eine ähnliche Lagerung von Holzbündeln im Stammmarke fehlt, und wir auch die Entwicklungsgeschichte der Zone der isolirten Plattenringe nicht kennen. Trotz einer grösseren Anzahl von Exemplaren liegt immer nur die gleiche Entwicklungsstufe vor, nur Weber's zweites Exemplar könnte vielleicht einem älteren Stammtheile angehören. Dieses stimmt mit Ausnahme der Fragmente eines zweiten peripherischen Plattenringes in allem Uebrigen mit den anderen überein, die Durchmesser der Holzkörper sind jedoch stärker, was auf Dickenwachsthum hinweisen könnte. Wir können sie vorerst nur als besondere Form unterscheiden und bezeichne ich sie als M. Solmsii.

V.

Ein im Besitze des Herrn Weber zu Chemnitz befindliches Exemplar, zu dessen Untersuchung mir früher angefertigte Dünnschliffe jetzt allein zur Disposition stehen, zeigt einen von allen bisher besprochenen Stammstücken abweichenden Bau, welcher beinahe dazu

führen kann, es als Entwicklungsstadium irgend einer Art zu erklären. Meine Dünnschliffe stammen von dem oberen, unter der Stammspitze gelegenen Theile des Stammes, ferner liegen mir von Herrn Etzold zu Leipzig mitgetheilte Quer- und Längsschliffe eines tiefer gelegenen Theiles desselben Stammes vor. Alle Querschnitte sind elliptisch, Ellipsen, welchen nahezu der dritte Theil fehlt und durch Druck bedingt sind, wie dies auch andere Erhaltungszustände darthun. Ich hebe diese Ursache absichtlich stets hervor, um einer gelegentlich geäusserten Ansicht, es sei die elliptische Form des Querschnittes die normale, entgegenzutreten, die Druckwirkung verräth sich nicht allein durch dies, sondern auch durch eine Reihe anderer Einzelheiten. Der Querschnitt des tiefer liegenden misst im Durchmesser 39 mm zu 36 mm, jener des oberen 20 mm zu 18 mm. Ein zweites Exemplar von solch geringem Durchmesser ist mir nicht bekannt. Stammmark und die innere Tracheidenzone des einzigen peripherischen Plattenringes haben bei beiden Exemplaren nahezu die gleichen Maasse, das Stammark 5—6 mm, die innere Holzzone des Plattenringes 3—5 mm. Beide sind verdrückt, das Mark namentlich bei dem Querschnitte des unteren Stammtheiles fünfseitig, mit ihm die Bastschicht (Taf. II. Fig. 39), weniger auffallend ist diese Verdrückung am oberen Stammtheile (Taf. III. Fig. 40). Die Maassdifferenz zwischen dem oberen und tiefer liegenden Stammtheile kommt auf Rechnung der nach aussen liegenden Holzzone des Plattenringes, welche im ersteren Falle, allerdings nicht ganz vollständig, 8 mm, bei letzterem 26 mm misst. Diesen Gegensatz der Wachsthumsenergie kennen wir auch bei Medullosa stellata, aber auch bei Lepidodendron vasculare Binney. Dergleichen Gegensätze des Wachsthums finden sich übrigens auch bei anderen Hölzern, fossilen wie recenten, in den einzelnen Jahresringen als Folge der Ernährungsvorgänge. Ob analoge Ursachen die erwähnte ungleichseitige Ausbildung bedingen, können wir nicht beurtheilen, es fehlt uns dazu jegliche Unterlage, es ist jedoch möglich, ebenso wenig können wir sagen, ob es ein Artenmerkmal ist. Ferner sind an dem stärker entwickelten Holze des tiefer liegenden Stammtheiles die sogenannten Zuwachszonen vorhanden, wie wir sie unter gleichen Verhältnissen bei M. stellata fanden, auch hier sind es, wie man sich ohne Schwierigkeit überzeugt, Verschiebungen, Verdrückungen und Farbennuancen, welche

diese Linien hervorrufen. Von Jahresringen ist gar keine Rede, nur völlige Unbekanntschaft mit den Erhaltungszuständen fossiler Reste kann ihnen diese Deutung geben. Der Bau beider Stammstücke stimmt sonst beinahe vollständig überein, der ältere, untere Stammtheil zeigt indess zwei Structurverhältnisse, welche dem jüngeren oberen fehlen. Das Stammmark ist, so weit es aus Parenchym besteht, bis auf wenige Reste vollständig zerstört und durch braungefärbte krystallinische Kieselsäure ersetzt, ihre Färbung eher durch Eisen als durch organische Substanz bedingt. Ebenso verhält sich das Partialmark, beide stimmen ferner darin überein, dass einzelne oder Gruppen kurzer sclerenchymatischer Zellen in sie eingebettet sind (Taf. II. Fig. 42, 46). Im älteren Stammtheile kommt noch ein einzelner, im Querschnitt elliptischer Tracheidenbündel mit Partialmark, Strahlenparenchym, Primär- und Secundärholz und schlecht erhaltener Bastschicht hinzu. Ausser der geringen Entwicklung des Secundärholzes unterscheidet er sich in nichts von einem Sternringe und so fehlt es ihm weder an Primär- noch an Secundärholz, noch in seinem Partialmark an einer losgelösten Tracheidengruppe (Taf. II. Fig. 41) des Primärholzes. An das Mark grenzt zunächst die innere Bastschicht des peripherischen Plattenringes an, weder sie noch die beiden Zonen des Holzes zeigen in ihrem Baue irgend welche Verschiedenheiten von den übrigen Arten, vielfach sind die Primärbündel noch im Zusammenhange mit dem Secundärholz erhalten, es fehlt übrigens auch hier nicht an losgelösten Tracheidengruppen, welche, wenn horizontal liegend, Treppentüpfel zeigen (Taf. II. Fig. 43, 44). Das Strahlenparenchym ist ebenfalls beinahe vollständig zerstört. Weniger gut sind die Structurelemente des oberen Stammtheiles erhalten, sie können jedoch erkannt werden, und so mag eine an derselben Stelle, an welcher der markständige Tracheidenbündel des unteren Stammtheiles liegt, liegende abweichende Gruppirung der Sclerenchymzellen und weitere undeutliche Elemente enthaltende Stelle ein jüngerer, nur aus Primärholz bestehender Tracheidenbündel sein. Der Erhaltungszustand lässt leider keinen sicheren Ausspruch zu. Dass die weniger gute Erhaltung der Gewebe dieses Stammtheiles durch deren jugendliche Beschaffenheit bedingt sein kann, ist möglich, und wäre eine bessere Erhaltung wünschenswerth, um über die Ausbildung des markständigen Bündels Aufschluss zu erhalten. Die Untersuchung

der Längsschnitte ergab nichts Wesentliches, da sie sich nur auf das Secundärholz erstrecken. An dem Querschnitte des älteren Stammtheiles ist noch ein austretender Blattspurbündel vorhanden, der Austritt desselben erfolgt an der Stelle, an welcher die geschlossenen Enden des Plattenringes aufeinander stossen. Wie bei M. stellata ist es auch hier das Primärholz der äusseren Holzzone des Plattenringes, welches die Tracheiden des Spurbündels liefert. Dazu treten dann noch im weiteren Verlaufe Tracheiden des secundären Holzkörpers. So weit der Spurbündel verfolgt werden kann, besteht er nur aus horizontal verlaufenden Tracheiden, welche zuletzt sehr schlecht erhalten, nicht mehr als solche zu unterscheiden sind. Nach einer mit Versteinerungsmasse ausgefüllten Lücke folgt noch etwa 5 mm breit eine unveränderte Parthie des Holzes, es muss der Spurbündel die Richtung nach aufwärts eingeschlagen haben. Dass die Tracheiden des secundären Holzkörpers sich an seinem Aufbau betheiligen, mag seinen Grund in der bedeutenden Entwicklung desselben haben. Jedenfalls ist der Horizontalverlauf des Bündels ein viel längerer als bei M. stellata.

Es frägt sich, wie dieser Stammrest aufzufassen ist. Gehört er einer der bisher besprochenen Arten als Entwicklungszustand an und wenn, welcher, oder ist er eine eigene Art? Ich neige mich eher der ersteren Anschauung zu, wofür mir der Stammrest, welcher mit allmählig abnehmendem Durchmesser bis unter die Spitze erhalten ist, ferner die sehr weit gehende Zerstörung der Gewebe und die zahlreichen Störungen ihrer Lagerung in dem oberen Stammtheile gegenüber dem unteren zu sprechen scheinen. Auf welche Art er zu beziehen ist, ist schwer zu sagen. Markständige kleine Tracheidenbündel besitzt M. Solmsii, die Sclerenchymgruppen des Stamm- und Partialmarkes sind jedoch verschieden, das letztere gilt auch für M. stellata und M. Leuckarti, von welch' letzterer sie ausserdem durch die Plattenringe verschieden ist, während sie mit M. stellata darin übereinstimmt. Ob nun die kleinen Tracheidenbündel Dickenwachsthum besitzen, demnach Sternringe werden können, wissen wir nicht. Entwicklungsgeschichtlich kann der Rest mit keiner der bekannten Arten identificirt werden, ich muss zu dem Auswege greifen, welchen wir bei fossilen Resten öfter einschlagen müssen, eine provisorische Form zu unterscheiden. Der Querschnitt des älteren

Stammtheiles erinnert an den von Cotta abgebildeten Querschnitt einer M. stellata (Dendrologie, tab. 13. Fig. 2), welchen Göppert und Stenzel a. a. O. als var. recurrens bezeichnen und auf tab. 2, Fig. 12 eine Copie derselben geben, dieser gehört indess unzweifelhaft zu M. stellata, theilt aber mit dem eben erwähnten die stark entwickelte äussere Zone, was auch bei einem anderen Exemplare der Berliner Sammlung der Fall ist. Ich möchte das fragliche Exemplar als M. Sturi bezeichnen.

Der Stamm der Medullosen war ohne Zweifel cylindrisch, da man wohl die so häufige elliptische Form des Querschnittes als durch äussere Einflüsse hervorgerufen ansehen muss. Die Basis scheint kegelförmig verjüngt gewesen zu sein, wie ich aus einem im Besitze des Herrn Leuckart zu Chemnitz befindlichen, von M. stellata stammenden Exemplare zu schliessen geneigt bin, die Blätter spiralig gestellt, die Blattstielbasen längere Zeit dem Stamme verbleibend (M. Ludwigii), für die übrigen Arten ist letzteres fraglich, da Exemplare dieser Erhaltung nicht bekannt sind. Die Masse des Stammes besteht aus Parenchym, in welches die Holzbündel vielfach verzweigt und unter sich anastomosirend eingebettet sind, welche aus den peripherisch gelegenen Bündeln Zweige in die Blätter abgeben, alle Holzbündel wenig unter sich verschieden. Eine weitere Eigenthümlichkeit dieser Gruppe ist, dass die Blattspurbündel eine Aenderung ihres Baues nicht erfahren (I). Die zweite Gruppe (II, III) enthält im centralen Parenchym des Stammes (Stammmark) verzweigte isolirte Holzbündel, welche umgeben sind von stärkeren oder weniger starken, durch Parenchym geschiedenen Holzplatten. Eine dritte Gruppe (IV) enthält im Centralmark sehr kleine Tracheidenbündel, umgeben ist das Centralmark von kleinen isolirten, plattenförmigen Holzkörpern, auf welche dann grosse plattenförmige, das Stammmark umfassende Holzkörper, wie bei II und III, folgen. Der Bau der einzelnen Holzkörper ist bei allen bis jetzt bekannten Stämmen derselbe. Wie auch die Form des Querschnittes sein mag, jeder ist in sich geschlossen, er hat sein eigenes Mark, von radiären Reihen der Netztüpfeltracheiden umgeben, durchzogen und in keilförmige Gruppen durch Strahlenparenchym gesondert und eine Bastzone. An dem dem Marke zugekehrten

Ende der keilförmigen Tracheidengruppen liegt an das Mark anstossend eine Gruppe von Treppentracheiden, Primärholz, die daran anschliessenden radiären Tracheidenreihen also Secundärholz. Wahrscheinlich besassen die markständigen wie die peripherischen Holzkörper ein Dickenwachsthum, welches zum Theil ein einseitiges war, und nicht weniger wahrscheinlich ist ein Dickenwachsthum durch Entstehung neuer peripherischer Holzkörper. Bei der letzten Gruppe (V) findet sich Primär- und Secundärholz in derselben Anordnung und mit gleichem Bau wie bei den übrigen, das Partialmark enthält Sclerenchymzellen, ebenso verschobene Tracheiden des Primärholzes, das Stammmark neben Sclerenchymzellen kleine Tracheidenbündel mit Partialmark, Primär- und Secundärholz, Bast, im Partialmark Sclerenchymzellen. Die Blattspurbündel von II—V nehmen ihren Ursprung aus dem Primärholze der nach der Peripherie hin liegenden Zone der peripherischen Holzkörper, des äussersten, wenn mehrere, des einzigen, wenn nur einer vorhanden. Letzteres kann mit dem Alter der Stämme zusammenhängen. Anfangs bestehen die Blattspurbündel nur aus Tracheiden, später tritt an der nach aussen gewendeten Seite ein secundärer Holzkörper auf, sie werden dann von demselben ganz umgeben, erfahren dann eine Theilung und wahrscheinlich eine nochmalige Theilung. Ihr Verlauf, anfangs horizontal, wird später ziemlich steil. Auffällig ist, dass bei M. Sturi (V) die Tracheiden des Secundärholzes am Aufbau des Blattspurbündels sich betheiligen, während er dasselbe in horizontaler Richtung durchsetzt. Primär- und Secundärholz hat denselben Bau wie das des Stammes. Die als Myeloxylon, Myelopteris und Stenzelia beschriebenen Reste sind Blattstiele der Medullosen. Ueber die Rinde wissen wir wenig, wie das Stammmark enthält sie im Parenchym mechanische Elemente.

Die Stellung der Blätter ist wohl auch da, wo wir keinen directen Nachweis, welcher bei M. Ludwigii und M. Solmsii vorliegt, bei M. Leuckarti und stellata eine spiralige. Bei M. Ludwigii ist nicht allein die Zahl der Blätter eine grössere, ihre Stellung ist auch gedrängter, als bei M. Solmsii, am wenigsten scheint dies bei M. Leuckarti der Fall gewesen zu sein, wie sich aus dem Leuckart'schen Exemplare ergiebt. Leider haben die beiden anderen älteren Stämme keine Blattreste. Die Medullosen mögen sich in dieser Hinsicht wie Farne mit analoger Blattstellung verhalten haben.

Ich habe es bis jetzt vermieden, die Beziehungen von Medullosa zu recenten und fossilen Stämmen eingehender zu besprechen. Alle Autoren haben sie entweder für Cycadeen erklärt oder sie in die Nähe derselben gestellt, wie dies auch von Göppert und Stenzel geschah, obwohl sie den eigenthümlichen Bau der peripherischen Plattenringe, welcher mit den Cycadeen nicht in Einklang zu bringen ist, richtig erkannten und einen Entwicklungsgang der Holzbildung annehmen, welcher ebenso wenig mit den Cycadeen etwas gemeinsam hat.

Ueber M. Ludwigii Göpp. und Leuckart habe ich mich am Schlusse ihrer Besprechung geäussert, für die übrigen Medullosen liegt die Sache anders. Es ist ein Bau des Holzkörpers vorhanden, welcher die Stämme von vornherein von den Cycadeen ausschliesst und einer anderen Abtheilung zuweist. Für sie alle ist ein Structurverhältniss ausser Frage, welches sämmtlichen fossilen und recenten Cycadeen fehlt, so ähnlich auch die Bündel der Cycadeen den Sternringen der Medullosen zuweilen sehen mögen (vergl. z. B. Mettenius, Bau der Cycadeen, tab. 2. Fig. 9). Es sind Tracheidengruppen an der dem Partialmark zugewendeten Seite der radiären Tracheidenreihen als Primärholz vorhanden, welche in analoger Weise bei einer ganzen Reihe den Archegoniaten angehöriger fossiler Stämme vorkommen, unter welchen Lyginodendron Williamson am meisten mit den Medullosen Verwandtes zeigt, Sigillaria, Poroxylon und Stigmaria wenigstens hinsichtlich des Primärholzes sich analog verhalten. Wollte man die Medullosen dennoch mit den Cycadeen vereinigen oder ihnen nahe stellen, so würde man sehr willkürlich verfahren, da keine Cycadee einen ähnlichen Bau besitzt. So lange wir nur auf die Structur angewiesen sind, lässt sich an die Cycadeen nicht denken, erst wenn Fortpflanzungsorgane uns dazu berechtigen, könnten wir sie ihnen verwandt annehmen. In diesen Tracheidengruppen müssen wir das Primärbündel, das Primärholz, sehen, in den an sie anstossenden radiären Tracheidenreihen das Secundärholz der einzelnen Holzbündel, mögen diese liegen wie sie wollen und einen irgend wie gestalteten Querschnitt haben. Wie bei allen Stämmen der Archegoniaten mit gleichem Baue, so entspringen auch bei Medullosa die zu den Blättern gehenden Bündel dem Primärholze und durchsetzen dann das Secundärholz auf längeren oder kürzeren Strecken,

um durch die Rinde zu den Blättern zu gelangen. Bei den Arten, bei welchen der Blattspurbündelverlauf genauer bekannt ist, stimmt derselbe, so weit wir ihn von Medullosa (II—V) kennen, mit jenem von Lyginodendron überein, bei welch' letzterer derselbe in der Rinde einen im Querschnitt kreisrunden Bündel bildet, dessen Aehnlichkeit mit den Sternringen der Medullosen Felix verleitete, Lyginodendron voreilig, ohne zu berücksichtigen, dass dem Holze der Cycadeen die Primärbündel fehlen und der Bau des Holzes ein durchaus anderer ist, für eine Cycadee zu erklären. Wahrscheinlich ist, nach der Lage der untersuchten Blattspurbündel zu urtheilen, der Verlauf der Bündel bei beiden ein analoger. Was Medullosa von Lyginodendron ebenso wie von den Cycadeen trennt, ist der Bau der Holzkörper oder Holzbündel. Diese Holzbündel, mögen sie nun Stern-, Platten- oder Schlangenringe sein, besitzen jeder sein Mark, dieses ist umgeben zunächst von den Bündeln des Primärholzes, an welches dann die keilförmigen Gruppen des aus radiären Tracheidenreihen bestehenden Secundärholzes und die Bastschicht sich anschliessen, Strahlenparenchym in breiteren oder schmäleren Zonen durchsetzt die Radiärreihen. Einige Einzelheiten des Holzes der Medullosen stimmen mit jenen vieler archegoniater Stämme überein, die Differenz von diesen liegt darin, dass jeder einzelne Holzkörper ein in sich geschlossenes Ganzes bildet, jeder von dem anderen durch Parenchym getrennt ist. Zur Zeit fehlt uns jeder Nachweis von Blättern und Fortpflanzungsorganen, welch' letztere erst die Stellung dieser Reste definitiv feststellen lassen werden. Wenn sie nun auch in mancher Beziehung an die Cycadeen erinnern, so sind dies doch entweder Momente von geringer Bedeutung oder solche, welche, weil mehreren Gruppen gemeinsam, nichts entscheiden, oder auch solche, welche auf einer irrthümlichen Auffassung beruhen. Eine andere Frage ist, wie die einzelnen Holzkörper entstehen und wie das Dickenwachsthum erfolgt, welches jedenfalls vorhanden gewesen sein muss, wie schon der Durchmesser der verschiedenen Stämme und jener, so weit solche überhaupt vorhanden, ihrer verschiedenen Höhen ergiebt. Auch für das Dickenwachsthum der einzelnen Holzkörper spricht Manches, wie früher angeführt. Göppert und Stenzel glauben, dass die Bildung der einzelnen Holzbündel in ähnlicher Weise erfolge, wie bei den Stämmen der Sapindaceen.

Sie stützen diese Ansicht durch einige Beobachtungen, welche sie an ihren Exemplaren machten, und bilden solche Zustände auch ab. In den wellenförmigen Biegungen des Plattenringes (Schlangenringes) von M. Leuckarti vermuthen sie den Beginn einer solchen Ablösung oder Trennung zur Bildung eines Stern- oder kleineren Plattenringes (a. a. O. pag. 8. tab. 3. Fig. 14 d. e), ferner werden auf Taf. I. Fig. 4—6 Falten und Schlingen desselben Stammstückes abgebildet, unter welchen in Fig. 6 eine Falte mit einem Sternringe durch einen dunklen Streifen in Verbindung steht, ebenfalls einen Beleg für diese Ansicht liefern soll. Ferner deuten sie die ganz richtige Beobachtung, dass zwei aufeinander folgende Flächen nicht immer das gleiche Bild der Vertheilung und Form der Holzkörper gewähren, im gleichen Sinne. Dass ein Theil dieser Behauptungen auf einer unrichtigen Deutung beruht, sei zuerst nachgewiesen. Die zuletzt erwähnte Abbildung (Taf. I. Fig. 4, 6a) stellt nichts weiter als eine Falte in dem Holzringe dar, wie sie als Folge des Druckes und der mehr oder weniger weitgehenden Zerstörung der Gewebe als Faltung und Verschiebung oft genug vorkommen und ich an den von mir gesehenen Exemplaren wiederholt beobachtet habe. Es kann dies sogar noch viel weiter gehen, wie dies Stenzel in der Zeichnung eines jetzt im Besitze von Solms befindlichen Exemplares dargestellt hat, bei welchem die Bastschicht an einer Stelle zerrissen, ein Fragment derselben in das anstossende Parenchym geschoben ist (Taf. II. Fig. 34). Ich muss mich wundern, dass die Verff. diese Zustände nicht sogleich als das erkannten, was sie sind, denn daran fehlt es bei fossilen Resten wahrlich nicht, am allerwenigsten bei den Medullosen, wofür die von den Verff. unterschiedenen Varietäten Beispiele liefern. Der oben erwähnte dunkle Streifen beweist noch weniger. Wer nur einige Erfahrung in der Untersuchung versteinerter Pflanzenreste hat, weiss, dass dergleichen Färbungen nicht selten sind und hätte jedenfalls durch einen Dünnschliff bewiesen werden müssen, dass er eine andere Bedeutung hat. Es ist dies überhaupt der Grundfehler der ganzen Abhandlung, dass Dünnschliffe bei ihr, wie es scheint, nicht benutzt wurden. Was nun die Verschiedenheit der Querschnitte der Stern- und Plattenringe auf zwei aufeinander folgenden Flächen angeht, so ist durch diese Thatsache noch nicht der Nachweis geliefert, wie diese Verschiedenheit zu Stande kommt. Diese Differenz muss eintreten, wenn

ein ursprünglich unverzweigter Holzkörper oder Holzbündel sich in Aeste theilt. Ich erfahre damit nichts weiter als dass dem so ist, wie es aber gekommen, erfährt man nicht, weil nur ältere Stämme bekannt sind und der einzige, wahrscheinlich jüngere Stamm, welcher bekannt ist, darüber keinen Aufschluss giebt. Dass diese Verzweigungen der Holzbündel Ursache der verschiedenen Anordnung und Form der Bündel auf zwei aufeinanderfolgenden Querschnittflächen sind, haben wir bei M. Ludwigii gesehen, einen Fall habe ich von M. stellata angeführt, wären die Exemplare der Sammlungen in dieser Richtung zugänglicher, als sie es thatsächlich sind, so stünde uns für die markständigen Bündel ein bei Weitem reicheres Material zur Disposition und würde es sich wahrscheinlich zeigen, dass nur diese verzweigt sind, die peripherischen Platten dagegen nichts dergleichen zeigen. Leider besitze ich Dünnschliffe dieser Art nur von M. Ludwigii, nicht auch von anderen Arten, ich möchte aber glauben, dass sich die letzteren ebenso verhalten, wie die erste. Die Anschauung von Göppert und Stenzel gründet sich auch nicht auf entwicklungsgeschichtliche Thatsachen, sondern einmal auf missverstandene Erhaltungszustände, ferner auf eine willkürliche Annahme, dass die kleineren Holzkörper durch Loslösung von grösseren entstanden sind. Was ich bestreite, ist, dass die von ihnen angeführten Thatsachen den Nachweis dafür liefern. Was am meisten für die von ihnen vertretene Anschauung spricht, sind jene markständigen Sternringe, welche an einer Stelle eine Einschnürung (Taf. II. Fig. 32 II) besitzen oder welche durch einen Tracheidenstreifen mit einander verbunden sind (Taf. II. Fig. 32 I). Für mich sind dies Querschnitte in der Nähe jener Stellen, an welchen eine Verzweigung auftritt.

In keinem Falle, in welchem ich Dünnschliffe untersuchen konnte, habe ich Gewebe, welche als Bildungsgewebe betrachtet werden könnten, gefunden, nur dies allein könnte uns Aufschluss über den Bildungsgang geben. Selbst bei den Stammstücken des unzweifelhaft jüngeren Stammes (V) ist alles dünnwandige Gewebe mehr oder weniger zerstört, und wo es erhalten, deutet sein Aussehen nicht auf ein Bildungsgewebe hin. Wenn auch vielleicht bei diesem Stamme aus der Erhaltung der markständigen Tracheidenbündel im oberen Stammtheile geschlossen werden kann, dass derselbe jünger ist, wenn die geringe Zahl seiner Tracheiden zum gleichen Schlusse be-

rechtigt, so wird doch durch seine Erhaltung ein Schluss unsicher. Mag nun die Entstehung und Ausbildung der Holzkörper der Medullosen sein, welche sie wolle, so ist der Bau derselben für die Archegoniaten ein durchaus fremdartiger und lässt auch nicht an Bennettites denken, welche, wie die Untersuchungen von Carruthers und Solms erweisen, unzweifelhaft den Gymnospermen angehören, im Stammbaue aber den Cycadeen nahe zu stehen scheinen. Carruther's Darstellungen geben darüber keine ausreichenden Aufschlüsse, mir fehlt das Material zu einer vergleichenden Untersuchung. Solms wird hoffentlich in nicht allzu langer Zeit über den Bau dieser Stämme Aufschlüsse geben.

Noch ist übrigens, ehe ich meine Ansicht ausspreche über die Entstehung der Holzkörper, auf einige andere fossile Reste zu verweisen, welche ich indess nur aus Abbildungen kenne. Der eine ist Unger's Cladoxylon mirabile, C. dubium (Richter und Unger, Beitr. zur Palaeontologie des Thüringerwaldes. Wien, 1856. Solms, Einleitung in die Phytopalaeontologie; Schenk, die fossilen Pflanzenreste), der andere Sphenopteris refracta Göppert, von welchen die beiden ersteren wegen schlechter Erhaltung nur nach dem äusseren Ansehen einige Aehnlichkeit mit Medullosa haben, der letzte aber nach Solms' Untersuchung in seinem aus radiär stehenden Tracheiden bestehenden Secundärholz, welches hufeisenförmig um das Primärholz gelagert sein kann, einige Verwandtschaft mit Medullosa verräth (vergl. Solms a. a. O. pag. 168. Fig. 15). Was hier an dem Blattstiele eintritt, findet bei Medullosa in analoger Weise bei dem Stamme statt, hier wie dort sind die einzelnen Holzkörper durch Parenchym getrennt. Was indess die Medullosen auch von diesen Resten, wie von anderen trennt, ist der mit Mark und Bast versehene Holzkörper. Ist man nun, da die von Göppert und Stenzel zur Begründung ihrer Theorie angezogenen Thatsachen keine damit zusammenhängenden Erscheinungen, sondern Erhaltungszustände sind, andererseits die wechselnde Form der Bündelquerschnitte das nicht beweist, was sie beweisen sollen, genöthigt, die von ihnen ausgesprochene Ansicht über die Entstehung der Holzkörper der Medullosen zu verwerfen, so frägt es sich, ob sie nicht durch eine andere ersetzt werden kann. Unter den Stämmen der recenten Archegoniaten fehlt es nicht an solchen, bei welchen Quer- und Längsschnitte eine

ähnliche Anordnung und einen ähnlichen Verlauf der Holzbündel, wie Medullosa zeigen. Mettenius in seiner Abhandlung über den Bau von Angiopteris liefert dafür die Belege. Allerdings ist der Bau der Holzbündel von Medullosa den recenten und fossilen Archegoniaten gänzlich fremd, wenn nicht das oben erwähnte Cladoxylon mirabile Unger einen analogen Bau besitzt, worüber sich nichts sagen lässt.

Meines Erachtens lässt sich die Entstehung der verschiedenen Holzkörper der Medullosen in einer Weise erklären, welche mit jener der übrigen Stammbildungen übereinstimmt. Ohne Zweifel bestehen die Stammspitzen der Medullosen wie bei allen jugendlichen Axen, in diesem Zustande aus einem Bildungsgewebe. Entstehen in diesem Pleromstränge, so können diese einerseits, wie dies bei den recenten Archegoniaten der Fall ist, in markständige, einfache unverzweigte oder verzweigte Bündel, ebenso in peripherische plattenförmige Holzmassen übergehen. Findet ein Dickenwachsthum statt, sei es dass dies die markständigen Sternringe oder die peripherischen Plattenringe oder beide trifft, so kann dies durch ein Cambium vermittelt werden, durch welches auch die Entstehung neuer peripherischer Plattenringe bedingt sein kann. Dass zu früher vorhandenen peripherischen Plattenringen noch weitere kommen können, beweisen die Exemplare von Medullosa Leuckarti Göpp. und Stenzel (II), deren Identität nicht bezweifelt werden kann.

Mit den Stämmen, welche als Medullosa bezeichnet sind, fällt Colpoxylon aeduense Brongniart zusammen. Von Brongniart zuerst beschrieben (tableau des plantes fossiles. Paris, 1849), ist sie von Renault (Cours de bot. foss. Tom. I. pag. 70. tab. 11. Fig. 8—10) nochmals untersucht und abgebildet. Es ist ein, wie Solms (Einleitung in die Phytopalaeontologie, pag. 171), welcher die Originale gesehen, richtig bemerkt, mit M. Leuckarti Göpp. und Stenzel verwandter Stammrest, welcher in seinem Stammmarke kleine Tracheidenbündel einschliesst, wie dies auch bei IV, V der Fall ist. Was Renault als Bast und Holz bezeichnet, sind die beiden Zonen des Schlangenringes, in der Rinde Blattspurbündel und Sclerenchymplatten, der Fig. 10 abgebildete Querschnitt verräth die Verwandtschaft mit Myeloxylon Brongniart (Myelopteris Renault, Stenzelia Göpp.).

Hinsichtlich der Unterscheidung der einzelnen Stammformen habe ich dem bereits Gesagten nichts hinzuzufügen. Man mag die beiden früher bekannten, sowie die von mir unterschiedenen fernerhin als verschiedene Formen betrachten, immer sind es vorerst, wie Medullosa selbst, auf die Structur gegründete Formen, über welche erst eine eingehendere Kenntniss entscheiden wird. Das Gleiche gilt auch für die Frage, ob Medullosa Ludwigii von den übrigen zu trennen ist oder nicht. So lange wir sie so unvollständig kennen, ist es sicher am zweckmässigsten, sie nicht zu trennen.

Durch Herrn Leuckart erhielt die botanische Sammlung ein von Ludwig in der Ural'schen Steppe zwischen Akolinsk und Semipalatinsk ohne Zweifel auf secundärer Lagerstätte gesammeltes Fragment einer sogenannten Tubicaulis Cotta, Farnstämme mit der peripherischen, aus Wurzeln und Blattstielen bestehenden Hülle oder nur diese letztere. Der Holzkörper fehlt dem Exemplare und ist wohl auch in diesem Zustande nie an ihm vorhanden gewesen, da die Aussenflächen mit Ausnahme einer einzigen, nicht abgeriebenen Bruchstelle abgerieben sind. Das Exemplar unserer Sammlung ist der Viertelausschnitt eines Kreises von 59 mm grösseren, 56 mm kleineren Durchmessers, 13 mm Dicke und war das Stück ursprünglich ohne Zweifel halbkreisförmig. Nach den angegebenen Maassverhältnissen, den ziemlich starken Blattstielen mit einem Durchmesser von 7 bis 10 mm schliesse ich auf einen ziemlich starken Stamm, jedenfalls stärker als jene von Anachoropteris und Asterochlaena, wie jetzt die Cotta'schen Tubicaulis-Arten bezeichnet werden. Die Tracheidenbündel der Blattstiele sind erhalten und stimmt ihr Umriss mit jenem der als Clepsidropsis Unger aus dem untersten Culm von Saalfeld bekannten Blattstiele überein. Wie bei dieser ist der Umriss des Bündels biscuitförmig, rings von Parenchym umgeben.

Wenn auch die Structur nicht vorzüglich erhalten ist, so lassen sich doch die Gewebeformen mit Sicherheit unterscheiden. Die Tracheiden sind durchgängig Treppentracheiden mit wenig gut erhaltenen Treppentüpfeln, umgeben sind sie von einer meist gänzlich zerstörten Sclerenchymscheide, auf welche dann zunächst weitlumiges, gegen die Peripherie englumiges Parenchym folgt. Nach aussen

schliesst dann eine gleich breite, vier bis fünf Zellen breite, stark zusammengedrückte, wenig verdickte Sclerenchymschicht, von der Epidermis bedeckt, die Gewebe des Blattstieles ab. Alle erwähnten Zellen sind gestreckt und englumig. Die zwischen den Blattstielen zahlreich vorkommenden Wurzeln sind ähnlich wie die Blattstiele erhalten. Ihr cylindrischer Holzkörper enthält ebenfalls nur die Treppentracheiden, die umgebende Sclerenchymscheide ist wie bei den Blattstielen zerstört, das Parenchym besteht aus zunächst grösseren, gegen die Peripherie hin engeren Zellen, die Epidermis einzelner Wurzeln trägt noch Wurzelhaare. Da der Verlauf der Wurzeln wellig ist, so sind die Längsschliffe meist schief, wie auch die Querschnitte meist nicht exact sind (Taf. III. Fig. 50, 51).

Was nun die Bezeichnung dieser Reste betrifft, so kann für sie der Name Tubicaulis so wenig, wie es für die anderen der Fall ist, beibehalten werden. Mit einer der Cotta'schen Gattungen lassen sie sich nicht vereinigen, da sie eine andere Querschnittsform des Bündels haben, bei den beiden anderen Cotta'schen Arten ausserdem der Stamm bekannt ist. Die Querschnittsform des Bündels ist aber wieder abhängig von der Höhe, in welche der Querschnitt des Blattstieles fällt, was bei den Blattstielen mit einem einzigen Bündel weniger der Fall ist, als wenn mehrere Bündel vorhanden sind. Es ist eine Folge des Austretens der für die Verzweigungen und die Blattflächen bestimmten Bündel, welche die Form und Gruppirung der Bündel ändern. Alles dies beweist, dass, wenn die Form und Gruppirung der Bündel zur Charakterisirung der Gruppen verwendet wird, Zusammengehöriges getrennt werden kann. Es wird deshalb am Zweckmässigsten sein, alle jene Blattstiele, für welche wir einen Zusammenhang mit Blättern oder Stämmen nicht kennen, als Rachiopteris zu bezeichnen, gleichgiltig, wie der Querschnitt der Bündel sein mag, eine Ansicht, welche Solms schon ausgesprochen hat. Da Herr Leuckart den Namen Ludwig's mit dem Reste verbunden zu sehen wünscht, so nenne ich den Rest Rachiopteris Ludwigii.

Tafelerklärung.

Medullosa Ludwigii Göpp. und Leuckart.

Tafel I. Fig. 1—16.

Fig. 1. Medullosa Ludwigii Göpp. und Leuckart. Stammabschnitt von aussen gesehen, zum Theile mit Blattstielbasen bedeckt. *a.a.* längs durchbrochene Blattstielbasen. *b.b.* Blattspurbündel.

Fig. 2. Zwei längs durchbrochene Blattstielbasen, etwas vergrössert. *a.a.* Bündel der Blattstielbasen. *b.b.* Sclerenchymschicht der Blattstielbasis. *c.c.* Bündelspuren der in die Blattstielbasen eintretenden Bündel.

Fig. 3. Stammlängsschnitt. Längsverlauf und Anastomosen der Holzbündel. Fig. 1—3 nach dem Exemplare des Herrn Leuckart zu Chemnitz.

Fig. 4. 5. Längsverlauf der Holzbündel nach dem Exemplare der botanischen Sammlung der Universität zu Leipzig.

Fig. 6—8. Austritt von Blattspurbündeln aus Stern- und Plattenringen. Querschnitte aus der Peripherie des Stammes.

Fig. 9. Zwei Sternringe aus der Mitte des Stammes mit abzweigenden Bündeln. Fig. 6—9 zum Theile nach dem Exemplare des Herrn Leuckart und jenem der botanischen Sammlung.

Fig. 10. Wechselnde Form und Zahl der Bündel auf zwei aufeinander folgenden Flächen. *a.* oben. *b.* unten. Nach dem Exemplare der bot. Sammlung.

Fig. 11. Querschnitt aus einem Plattenringe. Fig. 12. Radiallängsschnitt. Fig. 13. Der gleiche Schnitt aus der Abgangsstelle eines Bündels. Fig. 14. Tangentiallängsschnitt. Fig. 15. Schlinge. *a.* Zerstörtes Partialmark. *b.* Netztüpfeltracheiden. *c. Sp.* Strahlenparenchym. Sämmtliche Dünnschliffe von dem Exemplare der botanischen Sammlung.

Fig. 16. Radialschnitt eines Sternringes zunächst dem Marke. *a.* Zerstörtes Partialmark. *b.* Treppentracheiden.

M. Leuckarti Göpp. und Stenzel. Fig. 17—18.

Fig. 17. M. Leuckarti Göppert und Stenzel. Querschnitt aus der Rinde mit einem Blattspurbündel. *R.* Rindenparenchym stark zusammengepresst. *B.* Bastzellen des Spurbündels. *Tr.* Tracheiden desselben. *P.* Parenchym. Fig. 18. Querschnitt aus einem Plattenringe. *a.* Zerstörtes Partialmark. *b.b.* Primärholz. *c.* Secundärholz mit geknickten Tracheidenreihen. *d.* Strahlenparenchym, zerstört. Dünnschliffe von einem Exemplare des Herrn Weber zu Chemnitz.

M. stellata Cotta. Fig. 19—23.

Medullosa stellata Cotta. Fig. 19. Blattspurbündel aus dem äusseren Theile der Rinde, zweigetheilt. *Rp.* Zerstörtes Rindenparenchym, bei *a* eine erhaltene Stelle. *B.* Bast des Secundärholzes. *Sh.* Secundärholz. *Ph.* Primärholz. Fig. 20. Viergetheilter Blattspurbündel. *Sh.* Secundärholz. *Ph.* Primärholz. *Rp.* Erhaltene Stelle des Rindenparenchyms. Fig. 21. Treppentracheiden aus dem Primärholze. Fig. 22. Sclerenchymbündel aus

der Rinde. Fig. 23. Sternringe, ob durch Dickenwachsthum des Secundärholzes vergrössert, nach einem Exemplare im Besitze des Herrn Prof. Dr. Grafen zu Solms-Laubach, die übrigen Figuren nach Exemplaren des Herrn Weber zu Chemnitz, die Dünnschliffe in meinem Besitz.

Tafel II.

Medullosa stellata Cotta. Fig. 24—36.

Fig. 24. Querschnitt eines Theiles eines Sternringes. *a*. Partialmark, *b*. Strahlenparenchym, beide zerstört. *c*. Primärholz (Treppentracheiden) isolirt und Gruppen desselben aus dem Primärholz in das Partialmark verschoben. *d*. Primärholz, *e*. Secundärholz. Fig. 25. Querschnitt aus einem Plattenringe. *a*. Partialmark. *b*. Primärholz. *c*. Strahlenparenchym. *d*. Secundärholz. *e*. Bast. Fig. 26. Radialschnitt. *Tr*. Netzfasertracheiden. *Sp*. Strahlenparenchym. Fig. 27. Tangentialschnitt aus dem Secundärholz. *Tr*. Tracheiden. *Sp*. Strahlenparenchym. Fig. 28. Austretender Spurbündel mit Strahlenparenchym. *Tr*. Tracheiden. Sp. Strahlenparenchym. Fig. 29. Blattspurbündel, Querschnitt. *Pm*. Partialmark. *P*. Parenchym, beide zerstört. *Tr*. Tracheiden des Primärbündels. *H*. Aeusseres Secundärholz des Plattenringes. Fig. 30. Primärbündel quer durchschnitten. Fig. 31. Querschnitt eines Blattspurbündels mit Primär- *Ph*., und einseitigem Secundärholz *Sh*. Fig. 32. Wechselnde Vertheilung und Form der Holzbündel im Stammmark. I. oben, II. unten. Fig. 33. Zweitheiliger Sternring des Stammmarkes. Fig. 34. Verschiebung und Zerreissung der Bastschicht. *a*. Bast. *c*. Holz. Fig. 35. Dasselbe. *a*. Bast. *b*. Aeusseres, *c*. inneres Secundärholz. *d*. Partialmark. *Spb*. Austretender Spurbündel. Fig. 36. Sclerenchymbündel der Rinde.

Fig. 32—35 nach einem im Besitze des Herrn Prof. Dr. Grafen zu Solms-Laubach, alle übrigen Figuren nach Dünnschliffen in meinem Besitz.

Medullosa Solmsii Schenk. Fig. 37. 38. M. Sturii Schenk. Fig. 39—46.

M. Solmsii Schenk. Fig. 37. Kleiner Holzbündel aus dem Stammmark. Fig. 38. Sclerenchymbündel aus dem Stammmark.

M. Sturii Schenk. Fig. 39. Querschnitt des unteren Stammtheiles. *A.H*. Aeussere, *I.H*. innere Holzzone des Plattenringes. *Pm*. Partialmark. *B*. Bast. *Spb*. Blattspurbündel. *Trb*. Kleiner Tracheidenbündel. Fig. 41. Kleiner Tracheidenbündel des Stammmarkes im unteren Stammtheile. *Stm*. Stammmark. *Sc*. Sclerenchymzellen. *Pm*. Partialmark. *B*. Bast. *Sh*. Secundärholz. *Ph*. Primärholz. *Tr*. Isolirte Tracheidengruppe. Fig. 42. Stammmark mit Sclerenchymzellen. Fig. 43. Zwei Tracheiden des Primärholzes. Fig. 44. Querschnitt aus der inneren, Fig. 45. aus der äusseren Holzzone eines Plattenringes. *a*. Partialmark. *b*. Sclerenchymzellen. *c*. Primärholz. *d*. Secundärholz. *e*. Strahlenparenchym. *f*. Bast.

Fig. 46. Querschnitt aus dem Partialmark. *a*. Partialmark zerstört. *b*. Einzelne und Gruppen von Sclerenchymzellen. *c*. Tracheidengruppen, isolirte, des Primärholzes.

Fig. 39 nach einem Exemplare des Herrn Etzold, alle übrigen in meinem Besitz.

Tafel III.

Medullosa Sturii Schenk. Fig. 40. Querschnitt aus dem oberen Stammtheile. Dünnschliff in meinem Besitz, das Exemplar im Besitz des Herrn Weber zu Chemnitz.

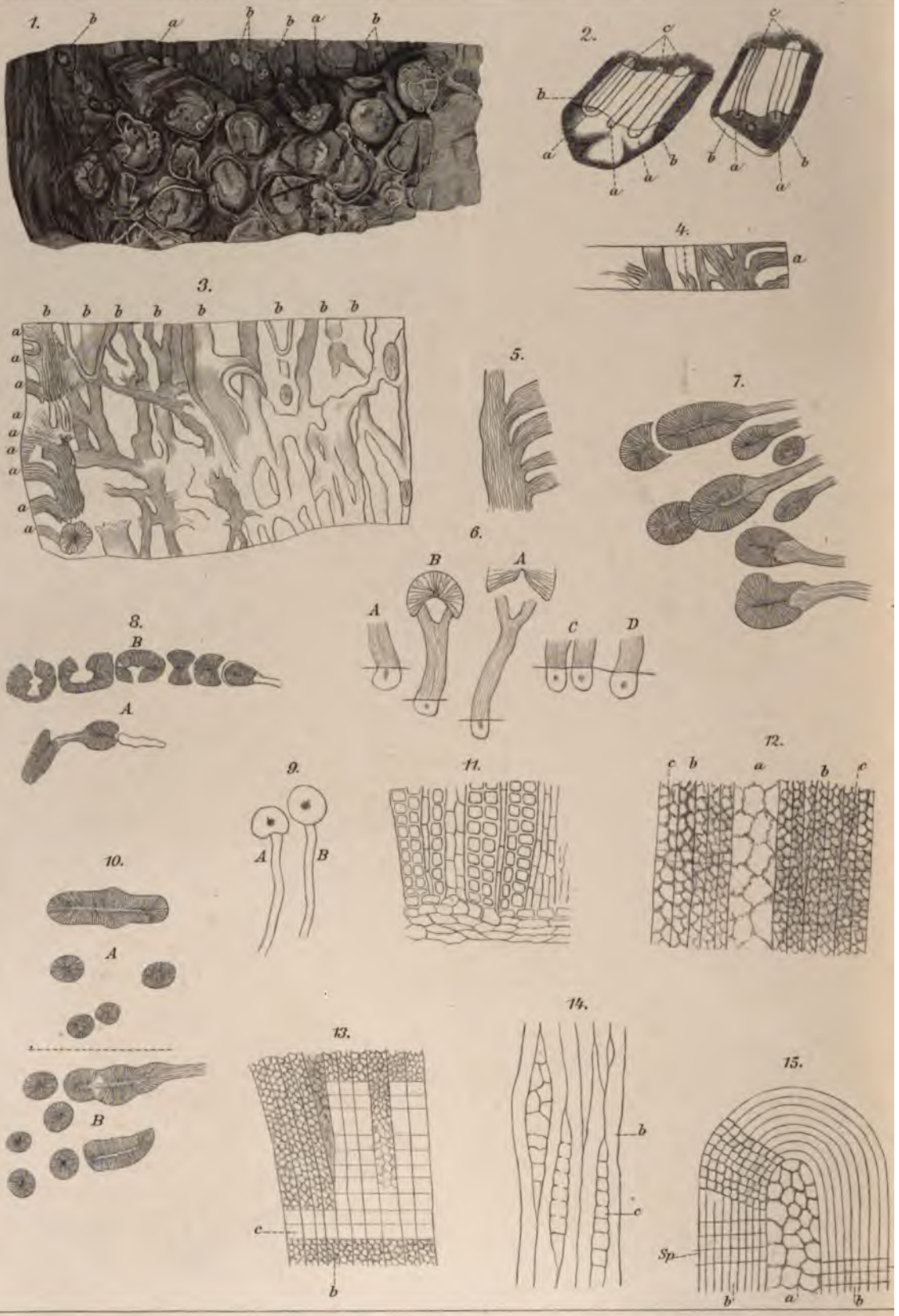
Fig. 47. Medullosa Leuckarti Göpp. und Stenzel. Querschnitt durch einen älteren Stammtheil. *Sc.* Sclerenchymbündel der Rinde. *R.* Rinde. *Pr.* Peripherische Schlangenringe. *St.* Markständige Holzbündel. *a.* Verzweigter Holzbündel über der Theilungsstelle durch den Querschnitt getroffen. *b.* Isolirter Holzbündel. Aus der Sammlung der geologischen Landesuntersuchung von Sachsen. Abschnitt eines Exemplares der Sammlung des Herrn Leuckart.

Fig. 48. Medullosa Solmsii Schenk. Querschnitt. *a.* Aeusserer Plattenring. *b.* Isolirte kleinere Plattenringe. *c.* Kleine markständige Tracheidenbündel. *d.* Sclerenchymbündel. *e.* Chalcedonmasse. Fig. 49. Aussenansicht des entrindeten Stammes derselben Art mit Blattspuren. Original der Fig. 48 in der Sammlung des bot. Institutes zu Leipzig, der Fig. 49 in der städtischen Sammlung zu Chemnitz.

Fig. 50. Rachiopteris Ludwigii Leuckart u. Schenk. Fig. 51. Querschnitt durch einen Blattstiel. Original in der Sammlung des bot. Institutes zu Leipzig.

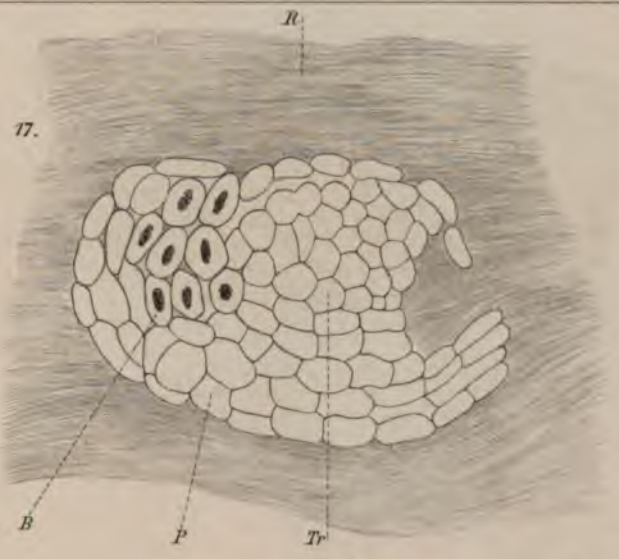
Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung	523
Medullosa Ludwigii Göppert und Leuckart	525
Medullosa Leuckarti Göppert und Stenzel	531
Medullosa stellata Cotta	537
Medullosa Solmsii Schenk	339
Medullosa Sturii Schenk	341
Charakteristik von Medullosa	545
Verwandtschaft und Stellung von Medullosa	547
Colpoxylon Brongniart	552
Rachiopteris Ludwigii Leuckart und Schenk	553
Tafelerklärung	555


1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
Sp

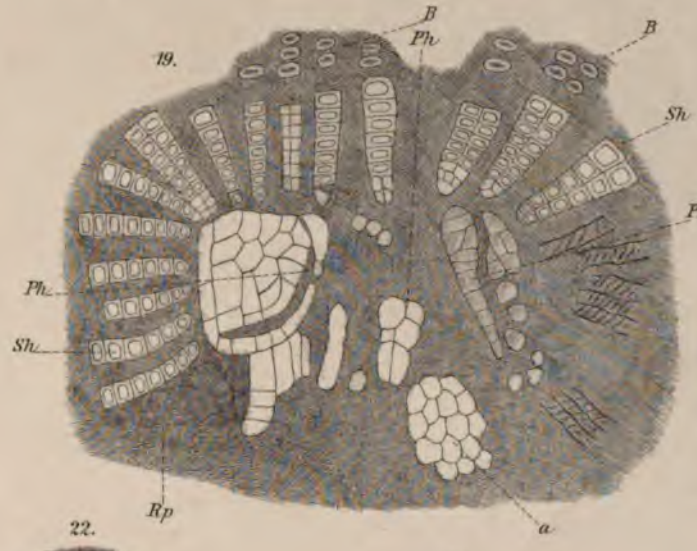
16.

17.



18.

19.



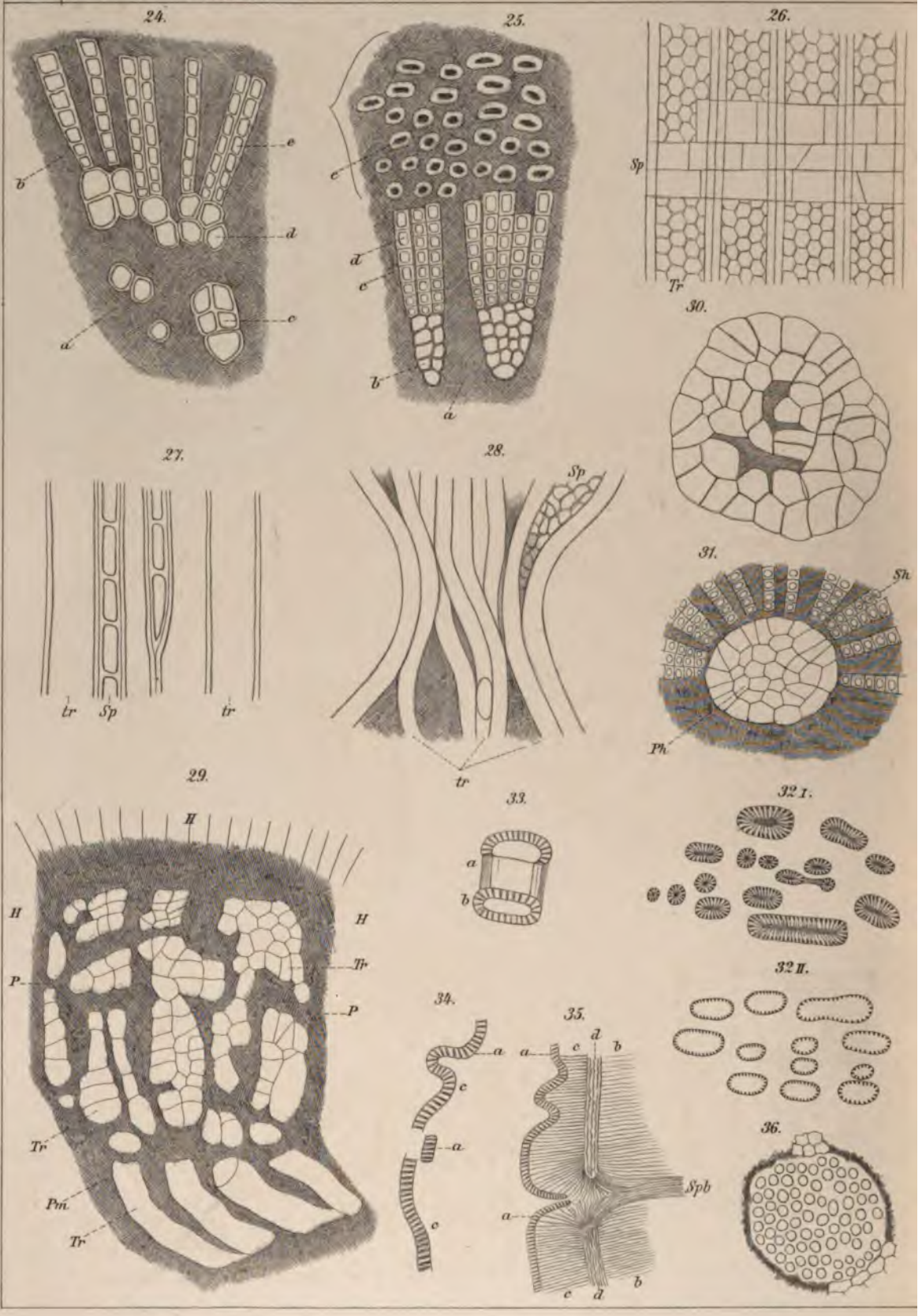
21.

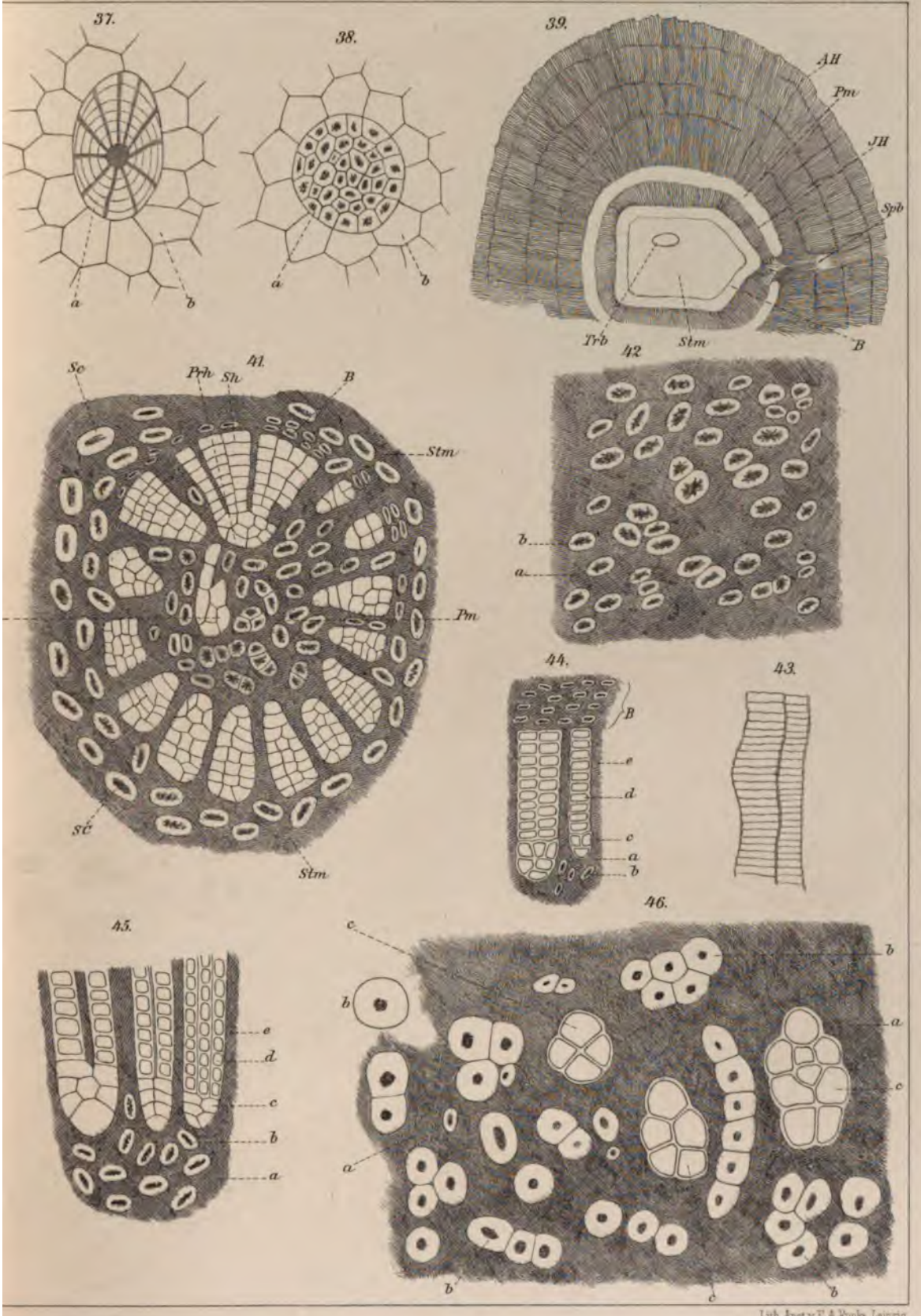
22.

20.

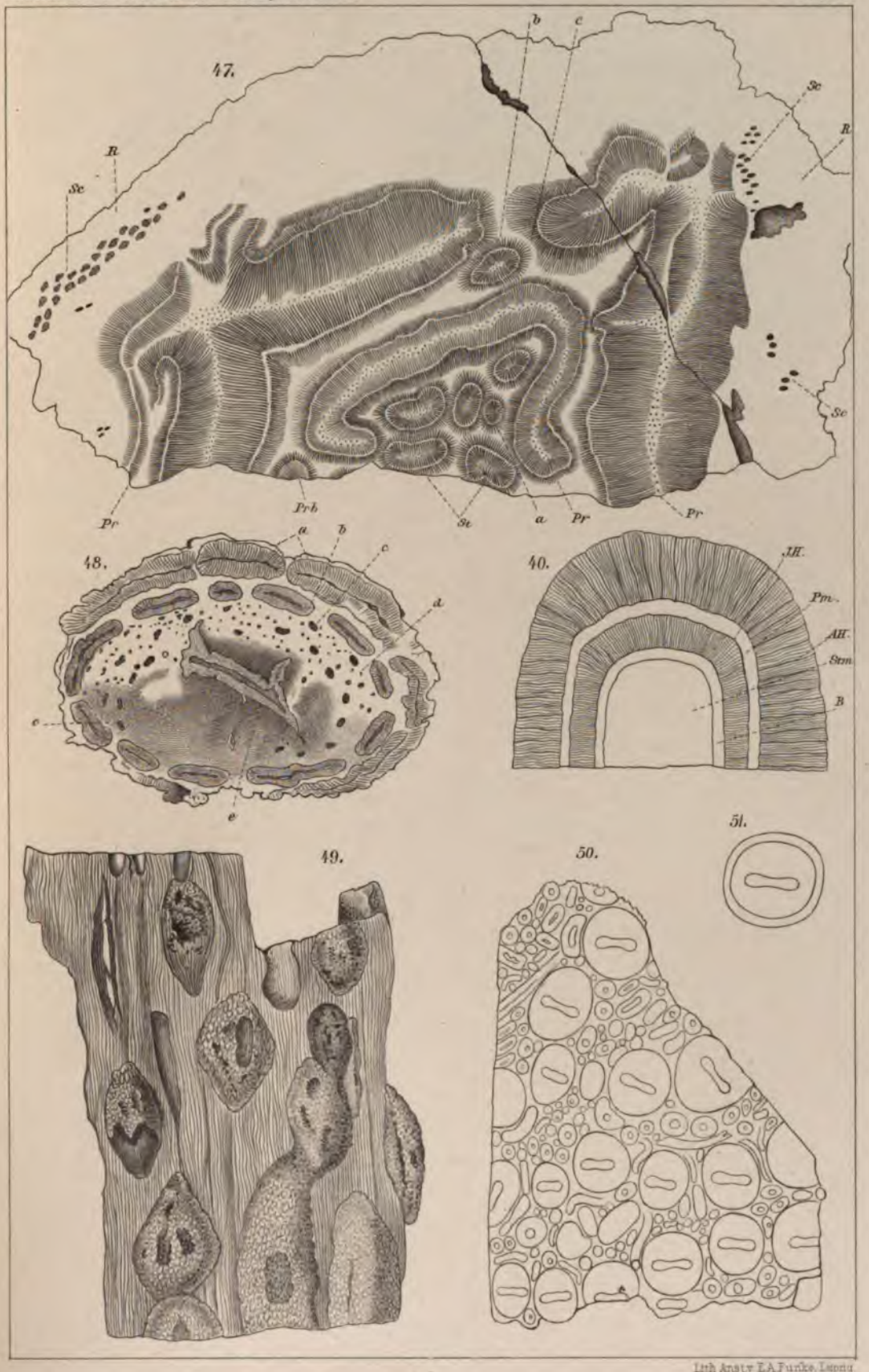
23.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.


24.
b
e
d
c
a
25.
e
d
c
b
a
26.
Sp
Tr
30.
31.
Sh
Ph
27.
tr
Sp
tr
28.
Sp
tr
29.
H
H
H
P
Tr
P
Tr
Pm
Tr
33.
a
b
32 I.
32 II.
34.
a
c
a
c
35.
a
c
d
b
a
Spb
c
d
b
36.



Lith. Anst. v. T. A. Funke, Leipzig.



Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

ÜBER DEN

SCHWERPUNKT DES MENSCHLICHEN KÖRPERS

MIT RÜCKSICHT AUF

DIE AUSRÜSTUNG DES DEUTSCHEN INFANTERISTEN.

VON

W. BRAUNE,

ORD. MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

UND

O. FISCHER.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° VII.

MIT SIEBZEHN TAFELN UND ACHTZEHN FIGUREN IM TEXT.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1889.

Das Manuscript übergeben am 2. Juli 1889.
Der Abdruck vollendet am 20. September 1889.

ÜBER DEN

SCHWERPUNKT DES MENSCHLICHEN KÖRPERS

MIT RÜCKSICHT AUF

DIE AUSRÜSTUNG DES DEUTSCHEN INFANTERISTEN.

VON

W. BRAUNE UND O. FISCHER.

Die Wirkung der Anziehungskraft der Erde kann man sich so vorstellen, dass an jedem Massenpunkte eines Körpers eine Kraft in der Richtung der Verbindungslinie desselben mit dem Mittelpunkte der Erde angreift, deren Grösse gleich dem Gewicht der in dem Punkte vereinigten Masse ist. Bei der grossen Entfernung des Mittelpunktes der Erde verlaufen alle diese Kraftrichtungen parallel mit einander. Es giebt daher eine Resultante der Schwerkräfte. Für eine jede Haltung eines Körpers entspricht diese Resultante einer festen geraden Linie innerhalb des Körpers. Diese gerade Linie bleibt unverändert, wenn man den Körper parallel mit sich im Raume um eine nicht zu grosse Strecke verschiebt, sie ändert aber ihre Lage im Körper sofort, wenn derselbe gedreht wird. Die gerade Linie in der neuen Lage schneidet in einem bestimmten Punkte die alte Linie. Durch denselben Punkt gehen aber auch alle anderen geraden Linien, welche die Lagen der Resultante der Schwerkräfte nach erneuten Drehungen angeben. Man kann diesen gemeinsamen Schnittpunkt daher als gemeinschaftlichen Angriffspunkt sämmtlicher Resultanten der Schwerkräfte für alle beliebigen Stellungen des Körpers auffassen. Dieser Punkt ist der Schwerpunkt des Körpers. Die Grösse der Resultante ist das Gewicht des Körpers, da die Resultante gleich der Summe der einzelnen Schwerkräfte ist. Man kann sich daher die Gewichte sämmtlicher einzelner Körpertheile in dem Schwerpunkte des Körpers vereinigt denken. Die Richtung dieser Resultante soll als Schwerlinie bezeichnet werden. Die Schwerlinie ist also die Verbindungslinie des Schwerpunktes mit dem Mittelpunkte der Erde; und ändert demnach ihre absolute Lage im Raume nicht,

wenn der Schwerpunkt festgehalten, im Uebrigen aber der Körper in beliebiger Weise um seinen Schwerpunkt herumgedreht wird. Dagegen ändert sie bei jeder Drehung des Körpers um den Schwerpunkt ihre relative Lage zum Körper. So lange die Schwerlinie die Unterstützungsfläche des Körpers schneidet, wird derselbe getragen, sobald sie ausserhalb der Unterstützungsfläche zu liegen kommt, fällt er um.

Die Unterstützungsfläche ist nicht identisch mit der Fläche, mit welcher der Körper wirklich den Boden berührt; sie ist es nur dann, wenn sie nur aus einem Stück besteht, und die Grenzlinie derselben überall nach aussen convex verläuft, wie z. B. die Basis eines Kreiskegels. Ist dagegen die Grenzlinie mit Einbuchtungen versehen, d. h. verläuft sie an manchen Stellen concav nach aussen, so ist das Stück mit zur Unterstützungsfläche zu rechnen, welches in den Einbuchtungen liegt, und zwar bis zu den Doppeltangenten, die durch diese Einbuchtungen bedingt sind. Gehen diese Einbuchtungen durch die ganze Fläche hindurch, d. h. besteht die Fläche aus zwei oder mehreren getrennten Stücken, so wird dadurch an diesen Verhältnissen nichts geändert. Es gehört dann jedesmal der ganze Binnenraum zwischen den zwei Doppeltangenten mit zur Unterstützungsfläche.

Also würde für den menschlichen Körper bei der aufrechten Stellung auf beiden Füssen die Unterstützungsfläche gegeben sein durch die Flächen beider Fusssohlen und durch den Raum, der zwischen den beiden Doppeltangenten liegt, die man an die Fussspitzen und Fersenvorsprünge anzulegen hat.

Seine Unterstützungsfläche bei der aufrechten Stellung kann der Mensch auf das Minimum reduciren durch das Stehen auf einem Beine, wenn er sich auf die Fussspitze erhebt. Sie gewinnt ihr Maximum, wenn beide Beine in die grösste Spreizstellung gebracht werden, eine Stellung, die man instinctiv einnimmt beim Fechten oder beim Stehen auf einem schwankenden Schiffsboden; denn hierbei kann die Schwerlinie beträchtliche Schwankungen ausführen, ohne aus der Unterstützungsfläche herauszutreten.

Handelt es sich nur um einen Unterstützungspunkt, so ist ein Körper dann unterstützt, wenn der Schwerpunkt mit dem Unterstützungspunkte in einer Verticalen liegt. Ein unterstützter Schwer-

punkt kann aber dreierlei Lagen zu seinem Unterstützungspunkte einnehmen.

1. Der Schwerpunkt kann mit dem Unterstützungspunkte zusammenfallen. In diesem Falle wird bei einer Drehung des Körpers um den Unterstützungspunkt der Schwerpunkt seine Lage beibehalten, und daher der Körper in jeder Lage sich im Gleichgewicht befinden. Dieses Gleichgewicht des Körpers nennt man indifferentes Gleichgewicht.

2. Der Schwerpunkt des Körpers kann über dem Unterstützungspunkte liegen. In diesem Falle wird bei jeder Drehung des Körpers der Schwerpunkt aus der Verticalen heraustreten und gleichzeitig eine tiefere Lage einnehmen. Es würde daher eine äussere Kraft nöthig sein, um den Schwerpunkt wieder auf seine ursprüngliche Höhe zu bringen; denn er wird nicht von selbst seine alte Lage wieder einnehmen können, sondern im Gegentheil das Bestreben haben, immer weiter zu fallen. Da die Schwerkraft bei einem Heraustreten des Schwerpunktes aus der Verticalen sofort ein Rotationsmoment gewinnt, so wird in Folge dessen der Schwerpunkt so lange fallen, bis er seinen tiefsten Stand erreicht hat. Dieses Gleichgewicht nennt man labiles Gleichgewicht.

3. Der Schwerpunkt kann unter dem Unterstützungspunkte liegen. In diesem Falle wird er bei einer Drehung des Körpers um den Unterstützungspunkt gehoben werden, und in Folge dessen wird sofort ein Rotationsmoment gewonnen, welches den Schwerpunkt, der immer das Bestreben hat zu fallen, in seine alte Lage, die unter allen die tiefste ist, zurückbringt. Der Körper wird also hier immer wieder von selbst in seine Gleichgewichtslage zurückkehren müssen. Dieses Gleichgewicht nennt man stabiles Gleichgewicht.

Beim labilen Gleichgewicht nimmt also der Schwerpunkt unter allen Lagen bei der Drehung um den Unterstützungspunkt die höchste, beim stabilen Gleichgewicht unter allen die tiefste Stellung ein.

Der ideale Hebelarm, den die Schwerkraft bei einer Drehung aus dem labilen Gleichgewicht gewinnt, ist bei derselben Drehung um so kleiner, je näher der Schwerpunkt an dem Unterstützungspunkte liegt, und er wird Null, wenn er mit ihm zusammenfällt, wodurch eben das indifferente Gleichgewicht charakterisirt ist. Daher wird die Unsicher-

heit der Stellung beim labilen Gleichgewicht um so grösser, je weiter der Schwerpunkt vom Unterstützungspunkte entfernt ist. Dies lehrt auch die Erfahrung des täglichen Lebens; denn je mehr der Schwerpunkt des Gesammtkörpers dem Fussboden genähert wird, um so sicherer steht man, weil bei derselben Bewegung aus der Ruhelage heraus das Rotationsmoment der Schwerkraft um so kleiner ist, je tiefer der Schwerpunkt liegt. Deshalb stehen kurze Menschen verhältnissmässig sicherer als lange Menschen.

Eine genaue Kenntniss der Lage des Schwerpunktes des gesammten Körpers und vor allen Dingen der einzelnen Gliederabschnitte desselben ist in Verbindung mit der Kenntniss der in den Schwerpunkten vereinigten Gewichte die unerlässliche Bedingung für eine Statik und Mechanik des menschlichen Körpers, weil man durch sie erst in den Stand gesetzt wird zu beurtheilen, welche Kräfte bei jeder Bewegung des Körpers die einzelnen Muskeln zu überwinden haben.

Da der menschliche Körper nicht eine starre Masse bildet, sondern bewegliche Glieder hat, die ihre Lage zu einander fortwährend ändern und selbst nicht einmal als starr im Sinne der Mechanik angesehen werden können, da ausserdem im Körper strömende Flüssigkeiten vorhanden sind, so fragt es sich, ob überhaupt von einem Schwerpunkte des menschlichen Körpers die Rede sein kann. Im absoluten Sinne gewiss nicht. Mosso hat in der That mit seiner Wage (Archives italiennes de Biologie, Tome V, Turin, Löscher. 1884, pag. 131: Application de la balance à l'étude de la circulation du sang chez l'homme) nachgewiesen, dass in Folge der Respiration und Blutcirculation die Lage des Gesammtschwerpunktes im Körper fortwährend wechselt. Die Lageveränderung ist aber so unbedeutend, dass sie für die meisten Fragen der Statik und Mechanik des menschlichen Körpers ausser Rechnung gelassen werden kann. Ebenso wird auch die Formveränderung in Folge der Weichheit der Gewebe zwar einen Einfluss auf die Schwerpunktslage ausüben, aber doch nur einen so geringen, dass man immer noch innerhalb gewisser Grenzen mit dem Schwerpunkte rechnen kann.

Anders verhält es sich dagegen mit der veränderlichen Lage der Glieder des Körpers. Durch die Gelenke ist eine so grosse Verschiebbarkeit derselben gegen einander bedingt, dass der Ge-

sammtschwerpunkt des Körpers durch eine Stellungsänderung der Glieder in sehr bedeutender Weise verlegt wird. Bei der mittleren Haltung des Körpers liegt der Schwerpunkt im Inneren desselben. Man kann aber den Körper so weit krümmen, dass ähnlich wie bei einem Gewölbbogen der Gesammtschwerpunkt ganz ausserhalb des Körpers zu liegen kommt. Es wird also jede Schwerpunktsbestimmung immer nur für eine bestimmte Haltung des Körpers Gültigkeit haben können.

Dass ferner die Bestimmungen immer nur bis zu einem gewissen Grade individuelle sein können, ist bei der Verschiedenheit der Massenvertheilung im Körper der einzelnen Menschen je nach Alter, Geschlecht u. s. w. selbstverständlich.

Schon frühzeitig haben die Mathematiker und Anatomen sich mit der Bestimmung der Schwerpunktslage im menschlichen Körper beschäftigt, aber mit Methoden, die unvollkommen sein mussten, weil sie am weichen Körper operirten oder ihn auf einfache stereometrische Formen reducirten, so dass es geboten erscheint, mit einer neuen Methode an die Aufgabe zu treten, welche diese Uebelstände beseitigt, indem sie es ermöglicht, den Körper ohne Hinzufügung neuer Massen so starr und unnachgiebig zu machen, dass er in jeder Stellung seine Form unverändert beibehält.

Der Mathematiker Joh. Alphonsus Borellus (De motu animalium. Lugduni Batavorum, 1679) bestimmte den Schwerpunkt des menschlichen Körpers dadurch, dass er einen nackten Menschen in ausgestreckter Lage auf ein ebenes Brett legte, dessen Mitte durch einen dreiseitigen prismatischen Keil unterstützt wurde (pag. 167, Propos. 134). Die Gleichgewichtslage trat dann ein, wenn die senkrechte Verlängerung der Schneide des Keiles nach aufwärts zwischen Hinterbacken und Scham (inter nates et pubim) zu liegen kam.

Eine grössere Genauigkeit dieser Borelli'schen Methode wurde von den Gebrüdern Wilh. und Ed. Weber (Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, Göttingen, 1836. p. 114 ff.) dadurch erreicht, dass sie zwar wie Borellus den auf ein Brett gelegten Körper auf einer horizontalen Kante zu äquilibriren suchten, dass sie aber zu diesem Zwecke nicht das Brett mit dem Körper zugleich verschoben, sondern den Körper allein, während das Brett vorher, ehe der Körper darauf lag, zum Gleichgewichte gebracht worden

war. Die Messung wurde dadurch von dem Brette ganz unabhängig. Sie suchten ferner die Lage des Gleichgewichtes des Körpers selbst nicht unmittelbar zu finden, was bei einer solchen labilen Aufstellung gar nicht möglich ist, weil der Körper stets mehr nach der einen oder anderen Seite überzuschlagen geneigt bleibt, sondern sie hielten sich blos an die Beobachtung des Ueberschlagens des Brettes nach der einen Seite, wiederholten aber die Messung, nachdem der Körper auf dem Brette herumgedreht worden war. Da nun die eine Messung die Lage des Schwerpunktes um ebenso viel zu hoch als die andere zu tief anzeigte, so gab das Mittel aus beiden die wahre Lage des Schwerpunktes. Bei einem 1669,2 mm langen Manne erhielten sie nach einer Reihe unabhängig von einander angestellter Messungen für den Abstand des Schwerpunktes vom Scheitel 721,5 mm, von der Ferse 947,7 mm, von der Drehungsaxe des Hüftgelenkes 87,7 mm. Es wurde dann an dem Skelete eines gleich grossen Mannes der Verticalabstand des Promontorium von der Drehungsaxe des Hüftgelenkes gemessen und 79,0 mm gefunden, woraus sich noch, weil diese Entfernung bei Menschen von gleicher Grösse nur wenig verschieden sein kann, eine vierte Bestimmung über die Lage des Schwerpunktes ableiten liess, nämlich der verticale Abstand des Schwerpunktes vom Promontorium; derselbe betrug 8,7 mm.

Nachdem von einem Leichnam das eine Bein abgenommen worden war, fand sich die Lage des Schwerpunktes höher, ungefähr in der Höhe des Nabels; nachdem beide Beine abgenommen worden waren, noch höher, in der Höhe des Schwertfortsatzes vom Brustbein.

Nach Gebr. Weber (a. a. O. pag. 119) »steht man dann recht fest »und zugleich ruhig und ohne Muskelhülfe, wenn Knie- und Hüftgelenke »weit über die Lage des Gleichgewichtes hinaus den höchsten Grad »ihrer Streckung erreicht haben. Dann steht der Schwerpunkt des »Rumpfes nur allein noch über dem Fussgelenke senkrecht, das »Hüftgelenk liegt aber dann vor und das Kniegelenk hinter der »durch den Schwerpunkt gezogenen Verticallinie. Alsdann wird »der Druck, den der Rumpf durch sein Gewicht auf seine Stützen »ausübt, so wirken, als wenn das Hüft- und Kniegelenk noch mehr »gestreckt werden sollten, was jedoch durch die Elasticität ihrer »Bänder verhindert wird. Der ganze Körper wird alsdann bis zum

»Fussgelenk von den Knochen der Beine und ihren Bändern ge»tragen und braucht wie eine einzige steife Masse von den Muskeln »nur auf dem Fussgelenke balancirt zu werden.«

Am eingehendsten hat sich mit der Frage nach der Lage des Schwerpunktes und überhaupt mit der Statik und Mechanik des menschlichen Körpers Hermann von Meyer beschäftigt. Seine Arbeiten finden sich theils in Müller's Archiv 1853 und 1854, nämlich: Das aufrechte Stehen, 1853, pag. 9; das aufrechte Gehen, 1853, pag. 365; die Mechanik des Kniegelenkes, 1853, pag. 497; die Individualitäten des aufrechten Ganges, 1853, pag. 548; über die normale Krümmung der Wirbelsäule, von Fr. Horner, mit einer Nachschrift von Meyer, 1854, pag. 478; theils in den Abhandlungen: Die wechselnde Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper, ein Beitrag zur plastischen Anatomie, Leipzig, Engelmann, 1863; Statik und Mechanik des menschlichen Körpers, Leipzig, Engelmann, 1873.

Borellus und die Gebrüder Weber hatten in der Rückenlage des Körpers gemessen und sich bei der Annahme einer vollständigen bilateralen Symmetrie des Körpers, bei welcher der Schwerpunkt in der Medianebene liegen musste, damit begnügt, den verticalen Abstand des Schwerpunktes von Scheitel und Fuss zu bestimmen. Meyer suchte auch noch in der Richtung von hinten nach vorn die Schwerpunktslage zu finden und benutzte dafür die aufrechte Stellung in einer Haltung, die er als die militärische bezeichnet und beschrieben hat. Die Methode seiner Versuche bestand darin, dass ohne sonstige Veränderung in der Haltung eine Vorwärtsneigung im Fussgelenk so weit ausgeführt wurde, bis ein Umkippen um eine durch die Mittelpunkte der Metatarsusköpfchen beider grossen Zehen gezogene Axe anfing sich geltend zu machen. »Ebenso wurde »durch Streckung im Fussgelenk eine Rückwärtsneigung des Rumpfes »und der Beine als einer steifen Einheit ausgeführt, bis ein Um»kippen um den hinteren Rand der Ferse sich bemerklich machte. »Hiermit war der Schwerpunkt über die ganze unterstützende Fläche »des Fusses bewegt. Genaue Messungen an bestimmt erkennbaren »Punkten der Beine hatten deren Neigung gegen den Horizont für »die Ausgangsstellung und für die beiden Extremstellungen erkennen »lassen. Damit war zugleich die im Fussgelenk ausgeführte Winkel»bewegung gegeben und aus dieser im Vereine mit der durch die

»Fusslänge angegebenen horizontalen Verschiebung liess sich sodann »die Lage der Schwerlinie für die Ausgangsstellung bestimmen.«

Für die aufrechte Stellung, welche Meyer als »militärische« bezeichnet, fand er die Lage des Schwerpunktes in dem zweiten Kreuzbeinwirbel oder unmittelbar über demselben im Canalis sacralis. Die Schwerlinie, welche von diesem ausgeht, fand er 5 cm hinter der Hüftaxe und 3 cm vor der Knöchelaxe hinabgehend (Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes, Leipzig, 1873, pag. 204). Später bestimmte er die Schwerpunkte einzelner Theile des Körpers durch Reduction von Kopf, Rumpf und Beinen auf einfache mathematische Körper (Ellipsoide und Kegel). Der Schwerpunkt des Kopfes liegt nach ihm etwas vor dem Atlanto-Occipitalgelenk. Er fügt dazu (Meyer-Horner pag. 499), dass bei der Unterstützung des Kopfes durch den Atlas das labile Gleichgewicht ebenso wenig angewendet sei, als bei der Unterstützung des Körpers durch das Hüft- oder Fussgelenk. Durch Vereinigung der Schwerpunkte von Kopf und Rumpf wurde sodann der gemeinsame Schwerpunkt für beide nach seiner Lage im Rumpfe gefunden; derselbe liegt nach Meyer etwas vor der Mitte des vorderen Randes vom zehnten Brustwirbel. Dieselbe Methode weiter verfolgend, führte er sodann die Zerlegung des Körpers weiter fort und trennte namentlich auch noch den Rumpf im engeren Sinne in zwei Ellipsoide, von welchen das eine den Thorax, das andere das Becken schematisirte. Ferner wurde auch der Schwerpunkt des ganzen Beines bestimmt, und angegeben, dass derselbe 266 mm entfernt vom Trochanter in der Beinaxe liege, bei einer Länge des ganzen Beines von 720 mm. Die Schwere der einzelnen Theilstücke nahm Meyer aus Krause's Handbuch der Anatomie. Mit diesem Material construirte er dann eine ganze Anzahl von Figuren in verschiedenen Haltungen und Stellungen und zeigte daran, wie ausserordentlich wechselnd die Lage des Schwerpunktes je nach der Haltung des Rumpfes und der Gruppirung der Extremitäten ist.

Der Nächste, welcher sich mit Schwerpunktsbestimmungen des menschlichen Körpers beschäftigte war Harless (Die statischen Momente der menschlichen Gliedmaassen, pag. 71 ff. der Abhandl. der math.-physik. Klasse der Königl. Bayr. Akademie der Wissenschaften, 8. Bd. 1860, 1. Abth. München. 1857). Derselbe wiederholte den Weber'schen Versuch an einem 24jährigen sehr schön gewachsenen Manne. Die

Totalhöhe desselben betrug 1655 mm; der Abstand des Schwerpunktes von der Sohle im Mittel 970 mm. Dies entspricht für die Totalhöhe 1000 den Abständen 586,102 von der Sohle und 413,898 vom Scheitel. Bei der Totalhöhe eines Körpers von 1669,2 mm betrug nach Weber der Abstand des Schwerpunktes von der Ferse 947,7 mm, bei der Totalhöhe 1000 resultirte daher als Abstand des Gesammtschwerpunktes vom Scheitel 432,24, von der Ferse 567,76. Die Differenz zwischen der Harless'schen und der Weber'schen Bestimmung beträgt demnach 1,8 % der Totalhöhe. Valentin (Harless a. a. O.) fand als Abstand vom Scheitel 429,19. Nach Meyer war der Schwerpunkt 768 mm vom Scheitel entfernt bei einem Körper, der eine Länge von 1897 mm hatte. Dies beträgt für eine Totalhöhe von 1000 404,96 Abstand vom Scheitel, 595,14 Abstand von der Sohle. In diesem Falle betrug die Abweichung von der Weber'schen Bestimmung 2,73 % der Totalhöhe.

Aus den vier Beobachtungen an verschiedenen Individuen ergab sich somit nach Harless als Mittel für den Abstand vom Scheitel 420,07 auf 1000 Totalhöhe reducirt. Harless suchte also vergleichbare Werthe zwischen den einzelnen Messungen dadurch zu gewinnen, dass er die verschiedenen Körperlängen gleich machte, gleich 1000 setzte, und nun auf 1000 die Entfernung des Schwerpunktes vom Scheitel und der Ferse berechnet, ohne dabei in Betracht zu ziehen, dass die Glieder verschiedene Proportionen bei den verschiedenen Individuen zeigen können, und die Höhe der Schulterstellung ausserordentlich wechselt, dass also z. B. zwei ganz gleich lange Körper verschieden lange Beine und verschiedene Rumpflänge haben können, was natürlich bei der Verschiedenheit der Massenvertheilung eine Verschiedenheit in der Schwerpunktslage bedingen muss. Es wird also z. B. ein mit sehr kräftigen und hochstehenden Armen versehener Schmied bei ganz gleicher Körperlänge eine höhere Schwerpunktslage haben müssen als ein Schneider mit schwächeren Armen und tiefer stehenden Schultern. Ferner könnte bei der Harless'schen Annahme auch der Fall eintreten, dass zwei gleichlange Körper dieselbe Entfernung des Schwerpunktes vom Scheitel zeigen, und doch eine grosse Differenz der Schwerpunktslage in anatomisch-mechanischer Beziehung besteht; denn es könnte z. B. das eine Individuum sehr kurze Beine besitzen und daher der

Schwerpunkt weit über das Promontorium zu liegen kommen, während er bei dem anderen gleich grossen aber langbeinigen Individuum bei gleichem Scheitelabstand unter das Promontorium fällt. Diese Bestimmung der Lage des Schwerpunktes durch den Abstand vom Scheitel hat demnach einen geringeren Werth als die anatomische Bestimmung und wird durchaus nicht dadurch gebessert, dass man von einer Anzahl Messungen das arithmetische Mittel nimmt.

Das Hauptverdienst von Harless besteht darin, dass er ebenso wie dies Meyer und Horner schon versucht hatten, es unternahm, die Schwerpunktslagen der einzelnen Körperabschnitte zu bestimmen, aber in viel eingehenderer und genauerer Weise. Er machte seine Bestimmungen mit der Balancirmethode und gewann dadurch die Höhenlagen. Die Trennung der Gliedmaassen nahm er mit Rücksicht auf die statischen Momente an der Grenze der Hebelarme, d. h. also an den Gelenkaxen, vor. Da er jedoch an weichem Material operirte, so führte er bei der Abtrennung in Schulter und Hüfte die Exarticulation aus. Nachdem er die Weber'sche Messung an einem Lebenden wiederholt hatte, benutzte er den Körper eines Enthaupteten (Graf) für die Messungen der Schwerpunktslagen in den einzelnen Körperabschnitten:

Die Totalhöhe dieses Körpers betrug	172,685 cm.
Fusshöhe	6 cm.
Länge des Unterschenkels	42,9 cm.
Länge des Oberschenkels	44,9 cm.
Abstand der Trochanterenlinie vom Gipfel der Crista ossis ilei	14 cm.
Abstand der Hüftbeinebene vom Gipfel der Akromialebene	39 cm.
Kopfhöhe vom Kinn bis zum Scheitel	21,2 cm.
Vordere Halshöhe	4,7 cm.
Länge des Fusses	25,369 cm.
Gesammte Armlänge	86,6 cm.
Länge des Oberarmes	36,4 cm.
Länge des Vorderarmes	29,889 cm.
Länge der Hand	20,314 cm.

Die Gewichte der einzelnen Theile waren folgende (der Körper stammte von einem Hingerichteten, war also entblutet):

Totalgewicht vor der Hinrichtung . .	63970 g.
Gewicht des Kopfes	4555 g.
Gewicht des Rumpfes	29608 g.
Gewicht beider Arme zusammen . .	7540 g.
Gewicht beider Beine	22270 g.
Gewicht je einer Hand im Mittel . .	540 g.
Gewicht je eines Vorderarmes . . .	1160 g.
Gewicht je eines Oberarmes . . .	2070 g.
Gewicht je eines Oberschenkels . .	7165 g.
Gewicht je eines Unterschenkels . .	2800 g.
Gewicht je eines Fusses	1170 g.

Für die Bestimmung des Schwerpunktes des Rumpfes nahm er denselben als aus zwei abgestumpften Kegeln bestehend an. Um nachzuweisen, dass diese Betrachtung des Rumpfes als System von Kegeln keine zu grossen Ungenauigkeiten enthalte, berechnete er das Gewicht des Rumpfes unter dieser Annahme mit Hülfe des specifischen Gewichtes des Gesammtkörpers, dasselbe zu 1,066 angenommen. Er fand für den ganzen Rumpf ein Gewicht von 28,5153 kg, während die directe Wägung 29,608 kg betrug. Es wurde dabei ein sehr hohes specifisches Gewicht benutzt nach den Angaben von Harkness und Baumgärtner, während nach Hermann bei normalen Leichen das specifische Gewicht im Mittel 0,9213 beträgt (Vierordt, Tabellen, Jena 1888). Da Harless an einem entbluteten Leichnam operirte, so hätte die Differenz zwischen der Rechnung und der directen Wägung des bluterfüllten Rumpfes viel grösser ausfallen müssen. Bei Annahme gleicher Massenvertheilung im Rumpfe würde also die Betrachtung als mathematischer Körper schon beträchtliche Fehler in Bezug auf das Gewicht ergeben. Da aber die Massen im Rumpfe sehr ungleich vertheilt sind durch die Lagerung der schwereren Wirbelsäule nach hinten, so wird die Bestimmung der Lage des Schwerpunktes mit Hülfe dieser mathematischen Fiction noch bedeutend unsicherer.

Die directen Messungen für die Lage des Schwerpunktes an den Extremitäten ergaben als Entfernungen des Schwerpunktes im Mittel:

1. Für den 36,4 cm langen Oberarm { 17,621 cm vom oberen / 18,779 cm vom unteren } Ende.
2. Für den 29,889 cm langen Vorderarm { 13,122 cm vom oberen / 16,767 cm vom unteren } Ende.
3. Für die 20,314 cm lange Hand { 9,623 cm vom oberen / 10,691 cm vom unteren } Ende.
4. Für den 44,9 cm langen Oberschenkel { 20,995 cm vom oberen / 23,905 cm vom unteren } Ende.
5. Für den 42,9 cm langen Unterschenkel { 15,455 cm vom oberen / 27,445 cm vom unteren } Ende.
6. Für den 25,369 cm langen Fuss { 11,664 cm vom hinteren / 13,705 cm vom vorderen } Ende.
7. Für den 21,2 cm hohen Kopf { 7,7 cm vom Scheitel. / 13,5 cm vom Kinn.
8. Der Schwerpunkt des oberen Rumpftheiles lag 23,465 cm von der unteren, 17,53 cm von der oberen Grenze entfernt.

   Der Schwerpunkt des unteren Rumpftheiles war 5,8899 cm von der oberen Grenze und 7,6101 cm von der unteren Grenze entfernt.

Den Rumpf theilte er in ein oberes Stück, bis herab unter die Hüftbeinkämme reichend, und in ein unteres, welches das Becken enthielt. Dass er hierbei die Messung und Rechnung bis auf Hundertstel oder gar Tausendstel Millimeter ausdehnte, ist ebenso unverständlich wie unangebracht.

Aus seinen gemessenen Schwerpunktsabständen von den Enden der Glieder des Hingerichteten berechnete er die Lage des Gesammtschwerpunktes des Körpers und fand, wieder nach Reduction der Körperlänge auf 1000, als Abstand desselben vom Scheitel 413,65.

Früher hatte er an einem lebenden, 24jährigen, sehr schön gewachsenen Manne den Schwerpunkt direct nach den Vorschriften der Gebrüder Weber bestimmt und als Abstand vom Scheitel 413,898 gefunden. Wenn auch beide Resultate in auffallender Weise übereinstimmen, so kann doch aus dieser Uebereinstimmung an sich noch nicht

ein Schluss auf die Genauigkeit seiner Methode der directen Messung wie der indirecten, z. B. den Rumpf als ein System geometrischer Körper zu betrachten, gezogen werden, weil die Bestimmungen sich auf zwei ganz verschiedene Individuen beziehen. Wir wollen nur erwähnen, dass bei dem Versuch der Gebrüder Weber sich als Abstand des Schwerpunktes vom Scheitel 432,24 bei einer Totalhöhe von 1000 ergab.

In einer zweiten Abhandlung (ebendaselbst pag. 257 ff.) giebt Harless die Messungen und Wägungen einer zweiten Leiche, eines 29jährigen Mannes (Kefer), der hingerichtet wurde, also blutleer war.

Gesammtlänge des Körpers 167,85 cm.

Kopf 20,2 cm.

Rumpf 57,5 cm.

Oberschenkel 42,3 cm; Unterschenkel 38,15 cm; Fusshöhe 9,7 cm.

Fusslänge 25 cm; Fussbreite an der Ferse 6,3 cm, an den Zehenballen 9,9 cm.

Oberarmlänge rechts 30,6 cm, links 30 cm.

Vorderarm rechts 26,4 cm, links 26,1 cm.

Hand rechts 18,5 cm, links 18,9 cm.

Entfernung der beiden Gipfel der Cristae ossis ilium von einander 27,1 cm.

Entfernung der Drehpunkte des Schultergelenkes von einander 29,9 cm.

Entfernung der Drehpunkte des Hüftgelenkes von einander 16,8 cm.

Der Leichnam wog 47087 g.

Der Kopf allein 3747 g.

Der Rumpf (blutleer), ohne Kopf und Extremitäten, 19846,5 g.

Der Oberarm rechts 1484,5 g, links 1411,3 g.

Der Vorderarm rechts 821,1 g, links 770,1 g.

Die Hand rechts 393,2 g, links 374 g.

Der Oberschenkel rechts 5947 g, links 5827 g.

Der Unterschenkel rechts 2242,6 g, links 2252,4 g.

Der Fuss rechts 982,2 g, links 988,2 g.

Die Angaben über die Lage der Schwerpunkte folgen später gleichzeitig mit den unserigen.

Da Harless nur die Höhen der Schwerpunktslagen bestimmt hat, so bleibt also noch die Aufgabe übrig, die Schwerpunktslage an allen Theilen nach den beiden anderen Richtungen zu bestimmen. Eine solche directe Bestimmung des Schwerpunktes ganzer Systeme findet ihre Controle in der Berechnung der Schwerpunktslagen derselben aus den direct gefundenen Schwerpunkten der einzelnen Abschnitte, und liefert auch rückwärts wieder eine Controle für die experimentelle Bestimmung der Schwerpunkte der einzelnen Abschnitte. Weder von Meyer noch von Harless ist dies geschehen; ebenso wenig ist von beiden derselbe Schwerpunkt, z. B. vom ganzen Körper oder von einem System von Körperabschnitten sowohl auf experimentellem Wege als auch auf dem Wege der Rechnung *an einem und demselben Individuum* bestimmt worden, wodurch doch allein eine gegenseitige Controle beider Arten der Untersuchung möglich ist. Harless verglich zwar die Resultate seiner Rechnung, die sich aber auch immer nur auf die Höhen bezogen, mit den experimentell gewonnenen Befunden; es waren dies aber Messungen, die an einem *anderen* Individuum gemacht worden waren.

Um die Fehler zu vermeiden, die aus der Weichheit des Materiales entspringen, verwandelten wir bei unseren jetzt näher zu beschreibenden Untersuchungen über die Schwerpunktslage den Körper durch *Gefrierenlassen* in eine starre Masse. Wir haben dabei durch künstliche Frostmischung die Cadaver so fest durchfrieren lassen, dass dieselben in ihrer Totalität sowohl wie in den nachträglich abgenommenen Stücken bis zu Ende der Untersuchung vollständig frosthart blieben.

Die Methode, an einem hart gefrorenen Cadaver oder an einem Theilstück desselben den Schwerpunkt exact zu bestimmen, wie wir sie durch wiederholte Versuche als die praktischste ausbildeten, war folgende:

Es würde zwar genügen, den Körper an Fäden in zwei verschiedene Aufhängungen zu bringen; denn dann würde der Körper

bei jeder Aufhängung so lange hin und her pendeln, bis der Schwerpunkt senkrecht unter den Aufhängungspunkt, also in die Verlängerung des Fadens fällt. Da wo die Verlängerungen beider Fäden sich schneiden, wird der Schwerpunkt liegen müssen. Da aber die Verfolgung der Fadenrichtung durch den Körper hindurch praktischen Schwierigkeiten begegnet und deshalb zu Ungenauigkeiten führen muss, so wurde von dieser Methode abgesehen.

Es wurde der Körper nicht in einem Punkte an einem Faden, sondern an einer Axe aufgehängt, die durch einen zugespitzten möglichst schwachen Eisenstab gebildet wurde, der aber doch genügende Stärke und Härte besass, um jede Biegung durch die Körperlast auszuschliessen. Aus diesem Grunde wurden zur Bestimmung des Schwerpunktes des ganzen Körpers stärkere Stahlstäbe genommen als zur Bestimmung des Schwerpunktes der Extremitäten, und hierzu wiederum stärkere als zur Bestimmung des Schwerpunktes des Unterschenkels oder des Fusses allein, wozu relativ sehr dünne Stahlnadeln ausreichten. Durch das Aufhängen des Körpers oder eines Körpertheiles an drei verschiedenen Axen wurde es in jedem Falle ermöglicht, drei nahezu rechtwinklig auf einander stehende Ebenen zu bestimmen, in deren jeder der Schwerpunkt liegen musste, so dass der Schwerpunkt sich als Schnittpunkt der drei Ebenen auffinden liess. Die Stäbe waren gut gehärtet und lang zugespitzt, so dass sie sich mit einem Schmiedehammer leicht durch alle Gewebe des hart gefrorenen Körpers und auch durch die Knochen in der einmal eingeschlagenen Richtung durchtreiben liessen. Da sie drehrund waren, bildeten sie eine Axe, um die der Körper in jedem Falle sich leicht drehte und so lange pendelte, bis der Schwerpunkt sich senkrecht unter die Axe eingestellt hatte. Diese Einstellung geschah sehr leicht und sicher, da wir die Axen immer möglichst weit von der muthmasslichen Lage des Schwerpunktes entfernt anbrachten. Mit Hülfe von zwei an der Axe angebrachten Senkelfäden wurde die jedesmalige Ebene, in der der Schwerpunkt lag, bestimmt und die Linie, in der sie sich mit der Körperoberfläche schnitt, auf diese aufgetragen. Diese Durchschnittslinie wurde auch in den Fällen, wo die Senkelfäden nicht in unmittelbarer Nähe der Einstichspunkte der Axe angebracht werden konnten, dadurch mit Sicherheit gewonnen, dass die Senkelfäden so lang gemacht wurden,

dass man unterhalb der deckenden Körpertheile beide Fäden einvisiren konnte.

An und für sich wäre es nun gleichgültig, wie dieses Ebenensystem zu dem Körper liegt. Aus praktischen Gründen aber haben wir die eine Ebene so gelegt, dass sie nahezu senkrecht auf der Längsrichtung des Körpers oder des betreffenden Körpertheiles zu stehen kam. Dies wurde dadurch erreicht, dass wir im voraus den Körper, resp. den Körpertheil, mit seiner Längsrichtung über eine Kante legten und durch Hin- und Herschieben äquilibrirten. Dicht oberhalb dieser Kante, möglichst nahe an der Körperoberfläche, haben wir dann parallel der Kante die erste Axe durchgeschlagen. Nachdem wir durch Visiren mittelst der Senkelfäden die Spuren dieser Ebene auf der Körperoberfläche bestimmt und eingeritzt hatten, wurde der Körper in die zweite Aufhängung gebracht. Die zweite Axe wurde möglichst weit entfernt von der markirten Transversalebene in sagittaler Richtung, möglichst in der Medianebene, durchgeschlagen und nun in gleicher Weise die zweite Ebene auf die Körperoberfläche projicirt. Es genügte jetzt, nur die Schnittpunkte dieser Ebenenspur mit der ersten Ebenenspur durch Einritzen zu fixiren. Genau auf dieselbe Weise wurde nun die dritte Aufhängung durchgeführt, und zwar wurde die dritte Axe möglichst frontal, also senkrecht zu der zweiten Axe und ebenfalls in möglichst grosser Entfernung von der Transversalebene eingeschlagen. Es wurden jetzt ebenfalls nur die Durchschnittspunkte der so gewonnenen Ebenenspur mit der Spur der Transversalebene auf der Körperoberfläche markirt.

Der Körper wurde darauf in der Transversalebene durchgesägt. Nachdem dies geschehen, wurden auf der glatten gleichmässig harten Schnittfläche zwei dünne Fäden ausgespannt, welche die auf der Körperoberfläche gewonnenen Schnittpunkte mit einander verbanden. Durch die beiden Fäden waren die Schnittlinien der Transversalebene mit den beiden anderen gegeben und durch den Kreuzungspunkt der Fäden der Schwerpunkt selbst bestimmt. In Folge der zu einander senkrechten Lage der zweiten und dritten Axe kreuzten sich diese Fäden jedesmal nahezu rechtwinklig, was die Auffindung des Schnittpunktes sehr erleichterte.

Im Ganzen standen uns vier frische männliche, normal gebaute Cadaver (Selbstmörder) zur Verfügung, von denen der erste nur zur

Bestimmung des Gesammtschwerpunktes diente, da er nicht zersägt werden durfte. Beim zweiten Cadaver konnte der Schwerpunkt des Gesammtkörpers und des isolirten Rumpfes nicht absolut sicher bestimmt werden, da während der Messung die Theile des Rumpfes aufzuthauen begannen und dadurch ihre Lage veränderten. Es wurden daher nur die zwei letzten Cadaver für alle Bestimmungen benutzbar.

I. Cadaver.

Der erste Cadaver stammte von einem 18 Jahre alten, sehr schön gebauten, muskelkräftigen jungen Mann (169 cm lang), der sich erschossen hatte und in frischem Zustande, mit starker Todtenstarre behaftet, auf die Anatomie kam. Der Bauch war nicht vorgetrieben, eher etwas eingesunken. Da der Körper nicht zersägt werden durfte, so konnten wir in diesem Falle die oben beschriebene Methode nicht vollständig durchführen. Wir mussten uns damit begnügen, den Körper in der oben angegebenen Weise in dreifache Aufhängung zu bringen, die Spuren der drei Ebenen auf die Körperoberfläche einzuritzen und durch Messen an den Knochenprominenzen die Durchschnittspunkte der Ebenenspuren auf das Skelet eines gleich grossen Mannes zu übertragen und dort die Fäden zu ziehen.

Der so gewonnene Schwerpunkt des ganzen Körpers fand sich in der Höhe des unteren Randes des zweiten Kreuzbeinwirbels, nahezu in der Ebene des Beckeneinganges, 0,5 cm nach rechts von der Medianebene, 4,5 cm unter dem Promontorium, in der Ebene, welche durch das Promontorium und die Mittelpunkte der beiden Hüftgelenkköpfe bestimmt ist.

Der Körper hatte sich beim Frieren auf einem horizontalen Brett in der Rückenlage befunden, ohne Erhöhung des Kopfes, mit ganz symmetrisch gelegten Extremitäten; die Beine in Strecklage, schwach nach aussen rotirt, und die Arme in schwacher Beugestellung des Cubitalgelenkes bei halber Pronation des Unterarmes.

II. Cadaver.

Die Leiche gehörte einem stark muskulösen Manne von 45 Jahren an, der sich durch Erhängen entleibt hatte. Der Bauch desselben

war nicht vorgetrieben, vielmehr etwas eingesunken, so dass der untere Thoraxrand deutlich sichtbar war. Die Länge des Leichnams betrug 170 cm, das Gesammtgewicht des Körpers 75100 g. Der Körper wurde ganz in gleicher Lage wie Cadaver Nr. 1 zum Frieren gebracht.

Nachdem an dem fest gefrorenen Leichnam alle Marken in oben beschriebener Weise eingeritzt worden waren, wurden der Kopf und die vier Extremitäten abgesägt und in die Eismischung zurückgelegt, um die Frosthärte unverändert zu erhalten. Darauf wurde der Rumpf allein in die drei Aufhängungen gebracht und abermals die entsprechenden Marken zur Fixirung des Schwerpunktes auf die Rumpfoberfläche eingeritzt. Darüber verging aber längere Zeit, da unsere Technik noch nicht so weit ausgebildet war, um genügend schnell und doch genau die Messung auszuführen. Unterdess begann der Rumpf aufzuthauen, wie schon oben angegeben wurde. Da sich nun das Sägen durch die Transversalebenen nicht mehr ausführen liess, blieb nichts Anderes übrig, als lange, schmale Stahlnadeln an den entsprechenden Punkten durch den Körper zu treiben, um so in beiden Fällen die Durchschnittslinien der Ebenen und damit den Gesammtschwerpunkt und den Schwerpunkt des Rumpfes allein im Inneren des Körpers zu bestimmen, so weit dies jetzt noch möglich war.

Man konnte über die Lage des Gesammtschwerpunktes nur so viel mit Sicherheit angeben, dass er nahe an dem Promontorium, aber unterhalb desselben, lag.

Der Schwerpunkt des Rumpfes allein liess sich etwas genauer bestimmen. Er lag nahezu in der Medianebene am unteren Rande des ersten Lendenwirbels, da wo die Bandscheibe ansetzt. Das Gewicht des isolirten Rumpfes allein betrug 36020 g.

Ausser diesen Messungen, welche nur einen annähernden Werth haben, konnten wir dagegen alle übrigen Bestimmungen sowohl an diesem Cadaver als an allen folgenden in exacter Weise nach der oben beschriebenen Methode durchführen.

Der Schwerpunkt des Kopfes lag genau in der Medianebene, am Clivus, an der Verbindungsstelle des Keilbeines und Occipitale, unter der Lehne des Türkensattels. Es ist aber hierbei zu bemerken, dass der Kopf mit einem Theil des Halses abgetrennt worden war. Der Sägeschnitt ging nämlich 5 cm über dem Jugulum

schief nach hinten durch den Nacken. Deshalb musste der von uns gefundene Schwerpunkt etwas tiefer und etwas weiter vorn liegen als der Schwerpunkt vom Kopf ohne Hals. Der Kopf mit Hals hatte ein Gewicht von 5350 g.

Die Arme wurden von der Achselhöhle aus in einer Sagittalebene nach aufwärts abgesägt, so dass bei jedem die Säge nahezu durch den Mittelpunkt des Humeruskopfes ging. Nachdem die Arme vom Rumpf abgetrennt waren, wurden sie gewogen. Es betrug das Gewicht des rechten Armes 4950 g, das des linken 4790 g. Darauf wurde der Schwerpunkt des ganzen Armes bestimmt, aber zunächst die Ebenen am Arme nur durch ihre Spuren markirt. Nun wurde der Unterarm vom Oberarm getrennt durch einen Sägeschnitt, der möglichst genau durch die Axe des Cubitalgelenkes gehen sollte. Später stellte sich heraus, dass der Schnitt nicht genau die Axe getroffen hatte, sondern etwas unter derselben durchgegangen war, so dass die Oberarmlänge in beiden Fällen gegenüber der Länge des Unterarmes etwas zu gross ausfiel. Es ergab sich aber auch, dass zufälliger Weise der Schwerpunkt des ganzen Armes gerade in diese Schnittebene zu liegen kam. Nun wurde der Schwerpunkt des Oberarmes allein bestimmt und darauf der der ganzen oberen Extremität, vorher aber das Gewicht des Oberarmes und Unterarmes mit Hand genommen. Dann wurde der Schwerpunkt des Unterarmes mit Hand bestimmt, aber wieder vorläufig nur die Ebenenspuren eingeritzt; darauf die Hand in der Transversalebene der Beugeaxe durch das Köpfchen des Capitatum abgenommen, so dass es nun möglich wurde, sowohl die Gewichte als auch die Schwerpunkte von Unterarm mit Hand, vom Unterarm allein und von der Hand allein zu bestimmen.

Die Länge des rechten Oberarmes, gemessen vom Mittelpunkte des Humeruskopfes bis zu der Schnittfläche, die bei diesem Cadaver nahezu durch die Gelenkspalte ging, nicht durch die Axe des Cubitalgelenkes, betrug 31,7 cm und das Gewicht desselben 2580 g. Die Länge des rechten Unterarmes ohne Hand bis zu der Schnittfläche, welche durch das Köpfchen des Capitatum ging, betrug 29,5 cm. Der rechte Unterarm mit Hand wog 2370 g, der rechte Unterarm allein 1700 g, die rechte Hand allein 670 g.

Die Länge des linken Oberarmes, der ebenfalls in der Gelenk-

spalte abgeschnitten war, betrug 31,5 cm und sein Gewicht 2560 g; die Länge des linken Unterarmes 29,5 cm. Das Gewicht des linken Unterarmes mit Hand betrug 2230 g, das Gewicht des Unterarmes allein 1600 g und das der linken Hand allein 620 g.

Der Schwerpunkt des rechten Oberarmes allein war 14,5 cm vom Mittelpunkt des Humeruskopfes entfernt und lag 17,2 cm über der Spalte des Cubitalgelenkes in der Markhöhle des Humerus.

Der Schwerpunkt der gesammten rechten oberen Extremität lag in der Schnittfläche, die durch die Gelenkspalte ging, also etwas unter der Cubitalaxe, im unteren Ende des Brachialis internus, nahezu in der Plica cubiti, 1,5 cm vor dem Knochen in der Mitte zwischen Caput flexorum und Caput extensorum.

Der Schwerpunkt des rechten Unterarmes allein lag 12,5 cm unterhalb der Spalte des Cubitalgelenkes und 17 cm oberhalb des Capitatumköpfchens, und zwar in der Masse der Beugemuskeln, 1 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum.

Der Schwerpunkt des rechten Unterarmes mit Hand lag 19 cm unter der Spalte des Cubitalgelenkes und 10,5 cm über dem Köpfchen des Capitatum innerhalb der Beugemuskeln, 0,5 cm vor dem Ansatz des Ligamentum interosseum am Radius.

Der Schwerpunkt der rechten Hand (bei halb flectirten Fingern) lag 5,5 cm unter dem Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, in der Hohlhand, 1 cm höher als der Mittelpunkt des dritten Metacarpusköpfchens, dem Ansatz des dritten Fingers entsprechend, 1 cm vor dem Knochen.

Der Schwerpunkt des linken Oberarmes allein lag 13,3 cm unterhalb des Mittelpunktes vom Humeruskopfe und 18,2 cm oberhalb des Schnittes durch die Spalte des Cubitalgelenkes, ebenfalls in der Markhöhle des Humerusknochens.

Der Schwerpunkt der gesammten linken oberen Extremität lag ebenfalls in der Schnittfläche durch die Spalte des Cubitalgelenkes, etwas unterhalb der Axe desselben, in der Mitte der Plica cubiti, im unteren Ende des Brachialis internus, 2 cm von der Fossa supratrochlearis anterior entfernt.

Der Schwerpunkt des linken Unterarmes allein befand sich 12,4 cm unterhalb der Spalte des Cubitalgelenkes und 17,1 cm

oberhalb des Köpfchens vom Capitatum, 1 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum, innerhalb der Beugemuskeln.

Der Schwerpunkt des linken Unterarmes mit Hand lag 19 cm unter der Spalte des Cubitalgelenkes und 10,5 cm über dem Capitatumköpfchen, 1 cm vor dem Ansatz des Ligamentum interosseum am Radius, in den Beugemuskeln.

Der Schwerpunkt der linken Hand (bei halb flectirten Fingern) lag ganz entsprechend dem der anderen Hand.

Die unteren Extremitäten waren durch Sägeschnitte, die hart am Poupart'schen Band durch die Hüftgelenke gingen, abgenommen worden, und zwar verliefen hier beide Schnittflächen ganz symmetrisch durch beide Schenkelköpfe, wie sich später herausstellte.

Zuerst wurde der Schwerpunkt des ganzen Beines bestimmt und vorläufig nur die Durchschnittspunkte auf der Oberfläche markirt. Darauf wurde der Oberschenkel durch einen transversalen Schnitt, welcher durch die Axe des Kniegelenkes ging, abgetrennt. Nun liess sich der Schwerpunkt des isolirten Oberschenkels bestimmen und zugleich auch der im Gebiete des Oberschenkels liegende Schwerpunkt des ganzes Beines. Darauf wurde der Schwerpunkt von Unterschenkel plus Fuss bestimmt, vorläufig aber nur die Durchschnittspunkte der Ebenenspuren markirt und endlich der Fuss durch einen Transversalschnitt in der Axe des Tibio-Talusgelenkes vom Unterschenkel abgetrennt. Danach liess sich der Schwerpunkt vom Unterschenkel allein und darauf der Schwerpunkt von Unterschenkel plus Fuss, der in den Bereich des Unterschenkels fiel, und endlich der Schwerpunkt des Fusses allein in der beschriebenen Weise ermitteln. Zugleich wurden wie oben jedesmal die Stücke gewogen.

Das Gewicht der ganzen rechten unteren Extremität betrug rechts 12120 g, links 11850 g. Die Länge des rechten Oberschenkels, gemessen vom Mittelpunkte des Femurkopfes bis zur Axe des Kniegelenkes, betrug 44 cm und das Gewicht desselben 7650 g. Die Länge des rechten Unterschenkels ohne Fuss, von der Knieaxe bis zur Axe des Tibio-Talusgelenkes, betrug 41,4 cm. Das Gewicht von Unterschenkel mit Fuss betrug 4470 g, das des Unterschenkels allein 3210 g und das des Fusses allein 1100 g. Der rechte Fuss war 28,5 cm lang und 7,8 cm hoch. Die Länge des linken Oberschenkels betrug 43,3 cm, sein Gewicht 7300 g. Der linke Unter-

schenkel hatte eine Länge von 41,8 cm. Der linke Unterschenkel mit Fuss wog 4500 g, der Unterschenkel allein 3320 g, der Fuss allein 1160 g. Der linke Fuss hatte eine Länge von 28,3 cm und eine Höhe von 7,5 cm.

Der Schwerpunkt des rechten Oberschenkels allein lag 19 cm unter dem Mittelpunkt des Gelenkkopfes und 25 cm über der Beugeaxe des Kniegelenkes, und zwar 1,5 cm hinter der Linea aspera etwas medianwärts.

Der Schwerpunkt der ganzen rechten unteren Extremität lag 39 cm unter dem Mittelpunkte des Schenkelkopfes und 5 cm über der Beugeaxe des Kniegelenkes, und zwar in der Mitte des hinteren Randes vom Knochen.

Der Schwerpunkt des rechten Unterschenkels allein lag 17,4 cm unter der Kniegelenkaxe und 24 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes, 1 cm hinter der Mitte des Ligamentum interosseum, genau in der Mitte zwischen Tibia und Fibula.

Der Schwerpunkt des rechten Unterschenkels mit Fuss befand sich 24,6 cm unter der Beugeaxe des Kniegelenkes und 16,8 cm über der Beugeaxe des Tibio-Talusgelenkes, direct hinter dem Ansatz des Ligamentum interosseum an der Tibia.

Der Schwerpunkt des rechten Fusses lag 11,5 cm vom hinteren Fussrande und 17 cm von der vorderen Fussspitze entfernt; er lag dabei 6,5 cm vor der Mitte des Tibio-Talusgelenkes, unmittelbar hinter dem Gelenk zwischen dem zweiten und dritten Keilbein an der vorderen Fläche des Naviculare.

Der Schwerpunkt des linken Oberschenkels allein lag 19,3 cm unter dem Mittelpunkte des Oberschenkelkopfes und 24 cm über der Knieaxe.

Der Schwerpunkt der ganzen linken unteren Extremität lag 38,5 cm unter dem Schenkelkopfmittelpunkte und 4,8 cm über der Beugeaxe des Kniegelenkes.

Der Schwerpunkt des linken Unterschenkels allein befand sich 17,4 cm unter der Beugeaxe des Kniegelenkes und 24,4 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes.

Der Schwerpunkt des linken Unterschenkels mit Fuss lag 25,5 cm unter der Knieaxe und 16,3 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes.

Der Schwerpunkt des linken Fusses lag 12 cm vom hinteren Fussrande und 16,3 cm von der Fussspitze entfernt.

Dabei lagen die Schwerpunkte im Inneren der Extremität an den der rechten Extremität entsprechenden Stellen.

Gewichte vom Cadaver Nr. II.

(Die Zahlen bedeuten Gramm.)

Körpertheile	rechts	links
Ganzer Körper	75100	
Kopf	5350	
Rumpf ohne Extremitäten	36020	
Ganzer Arm	4950	4790
Oberarm	2580	2560
Unterarm mit Hand	2370	2230
Unterarm ohne Hand	1700	1600
Hand	670	620
Ganzes Bein	12120	11890
Oberschenkel	7650	7300
Unterschenkel mit Fuss	4470	4500
Unterschenkel ohne Fuss	3240	3320
Fuss	1100	1160

Da die Gewichte direct bestimmt wurden, so kann die Summe der Einzelgewichte nicht ganz das Gesammtgewicht erreichen, denn durch die Sägeschnitte geht jedesmal etwas verloren.

Dimensionen vom Cadaver Nr. II.

Länge des ganzen Cadavers: 170 cm.

Kopfhöhe (unterer Kinnrand bis zum Scheitel in der Verticalprojection): 21 cm.

Länge des Oberschenkels: rechts 44 cm, links 43,3 cm.

Länge des Unterschenkels: rechts 41,4 cm, links 41,8 cm.

Fusshöhe: rechts 7,8 cm, links 7,5 cm.

Fusslänge: rechts 28,5 cm, links 28,3 cm.

Entfernung beider Hüftgelenkmittelpunkte von einander: 17 cm.

Länge des Oberarmes: rechts 31,7 cm, links 31,5 cm.

Länge des Unterarmes ohne Hand: rechts 29,5 cm, links 29,5 cm.

Die Maasse sind immer von einer Gelenkaxe (resp. Gelenkmittelpunkt) zur anderen genommen, so weit die Schnittflächen durch die Gelenke die Axen getroffen hatten; nur beim Cubitalgelenk verlief, wie sich herausgestellt hatte, der Schnitt in beiden Armen durch die Gelenkspalte, also unterhalb der Axe.

III. Cadaver.

Normalgebauter, sehr muskelkräftiger frischer Leichnam eines etwa 50jährigen Handarbeiters, der sich erhängt hatte. Der Cadaver wurde im frischen Zustande und in glatter Rückenlage, wie die anderen, zum Frieren gebracht und fest gefroren zu den Schwerpunktsbestimmungen benutzt, nach derselben Methode wie früher. Der Leichnam hatte eine Länge von 166 cm und wog 60750 g.

Der Schwerpunkt des gesammten Körpers lag in einer Transversalebene, die durch den unteren Rand des ersten Kreuzbeinwirbels ging, also nicht im Promontorium selbst, sondern nahe demselben, etwas darunter. Er lag 0,2 cm nach rechts von der Medianebene und 4 cm vor der obersten Linea transversa des Kreuzbeines.

Der Schwerpunkt des Rumpfes allein (d. h. ohne Kopf und Arme) lag in der Mitte des ersten Lendenwirbelkörpers, 2 cm von der vorderen Fläche, 1,4 cm von der hinteren Fläche des Wirbelkörpers entfernt und 0,3 cm von der Medianebene nach rechts.

Der Schwerpunkt des Kopfes fiel in die Fossa Tarini hinter der Lehne des Türkensattels, genau in die Medianebene.

Bei diesem Cadaver hatten die Schnittflächen an den Schultergelenken genau den Gelenkköpfe halbirt und die Schnittflächen an den Cubitalgelenken und den Handgelenken die Beugeaxen getroffen.

Die ganze rechte obere Extremität wog 3550 g. Die Länge des rechten Oberarms betrug 30,6 cm, das Gewicht desselben 1990 g. Die Länge des rechten Unterarmes ohne Hand betrug 26,3 cm. Der rechte Unterarm mit Hand wog 1550 g, ohne Hand 1050 g, und die Hand allein 500 g.

Die ganze linke obere Extremität wog 3480 g. Die Länge des linken Oberarmes betrug 30,2 cm, das Gewicht desselben 1880 g. Die Länge des linken Unterarmes ohne Hand betrug 27,1 cm. Der

linke Unterarm mit Hand wog 1600 g, ohne Hand 1120 g und die Hand allein 470 g.

Der Schwerpunkt des rechten Oberarmes allein lag 13,4 cm unter dem Mittelpunkte des Humeruskopfes und 17,2 cm über der Axe des Cubitalgelenkes, am hinteren Rande des Humerus.

Der Schwerpunkt der gesammten rechten oberen Extremität lag 28 cm unter dem Mittelpunkte des Humeruskopfes und 2,6 cm über der Cubitalaxe, 1,8 cm vor dem Humerus, im Muskelfleische des Brachialis internus.

Der Schwerpunkt des rechten Unterarmes allein lag 10,9 cm unter der Axe des Cubitalgelenkes, 15,4 cm über dem Mittelpunkte des Köpfchens vom Capitatum und 1 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum in den Beugemuskeln, gleich weit von Radius und Ulna entfernt.

Der Schwerpunkt des rechten Unterarmes mit Hand lag 17,8 cm unter der Cubitalaxe und 8,5 cm über dem Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, 0,7 cm vor dem Ansatz des Ligamentum interosseum am Radius.

Der Schwerpunkt der rechten Hand (bei flectirten Fingern) lag 5,9 cm unterhalb des Mittelpunktes vom Capitatumköpfchen, ungefähr 1 cm oberhalb des zweiten Metacarpusköpfchens, gleich weit, circa 2 cm, vom zweiten und dritten Metacarpusknochen entfernt, in der Falte, welche der Daumen mit der Hand bildet, ganz nahe der Haut der Hohlhand.

Der Schwerpunkt des linken Oberarmes allein lag 13,7 cm unter dem Mittelpunkte des Humeruskopfes und 16,5 cm über der Axe des Cubitalgelenkes, unmittelbar hinter dem Humerus.

Der Schwerpunkt der ganzen linken oberen Extremität lag 29,1 cm unter dem Mittelpunkte des Humeruskopfes und 1,1 cm über der Cubitalaxe, 1,4 cm vor der Mitte des Humerus im Fleische des Brachialis internus.

Der Schwerpunkt des linken Unterarmes allein lag 11 cm unter der Cubitalaxe und 16,1 cm über dem Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, und zwar 1,1 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum, gleich weit entfernt von Radius und Ulna, im Muskelfleisch der Flexoren.

Der Schwerpunkt des linken Unterarmes mit Hand lag 17,6 cm unter der Axe des Cubitalgelenkes und 9,5 cm über dem Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, 1 cm vor dem Ligamentum interosseum, näher dem Radius.

Der Schwerpunkt der linken Hand (bei etwas weniger flectirten Fingern als rechts) lag 5,7 cm entfernt vom Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, 0,8 cm vom Mittelpunkte des Capitulum des dritten Metacarpus, in der Vola manus, 1,2 cm vor dem Volarrand des dritten Metacarpus, gleich weit entfernt vom zweiten und vierten Metacarpus. Hier lag der Schwerpunkt nicht an der Oberfläche der Hand, sondern in der Sehne des dritten oberflächlichen Fingerbeugers.

Die ganze rechte untere Extremität, von der Mitte des Kopfes des Oberschenkels bis zur Fusssohle gemessen, war 92,7 cm lang und wog 10650 g.

Die ganze linke untere Extremität hatte eine Länge von 91,6 cm und ein Gewicht von 10250 g.

Der rechte Oberschenkel besass eine Länge von 42 cm und ein Gewicht von 6690 g. Der rechte Unterschenkel allein war 43 cm und der Fuss 26,5 cm lang und 7,7 cm hoch. Das Gewicht des rechten Unterschenkels mit Fuss betrug 3950 g, das des Unterschenkels allein 2870 g und das des Fusses allein 1060 g.

Der linke Oberschenkel war 41 cm lang und wog 6220 g. Der linke Unterschenkel allein war 42,9 cm, der Fuss 26,9 cm lang und 7,7 cm hoch. Das Gewicht des linken Unterschenkels mit Fuss betrug 3980 g, das des Unterschenkels allein 2880 g, und das des Fusses allein 1090 g.

Um Missverständnissen zu begegnen, soll hier nochmals ausdrücklich betont werden, dass unter den angegebenen Längen nicht die absoluten Längen der Knochen, sondern die Entfernungen der Gelenkaxen resp. Gelenkmittelpunkte von einander zu verstehen sind. Aus diesem Grunde erscheint der Oberschenkel zu kurz und der Unterschenkel zu lang.

Der Schwerpunkt des rechten Oberschenkels allein lag 19,7 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes und 22,3 cm über der Knieaxe, 2,2 cm hinter dem hinteren Rande des Oberschenkelknochens, etwas medianwärts.

Der Schwerpunkt der gesammten rechten unteren Extremität lag 37,7 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes, 4,3 cm über der Knieaxe, unmittelbar am hinteren Rande des Oberschenkelknochens.

Der Schwerpunkt des rechten Unterschenkels allein lag 18,7 cm unter der Kniegelenkaxe und 24,3 cm über der Tibio-Talusgelenkaxe, 1 cm hinter dem Ligamentum interosseum, der Tibia etwas näher.

Der Schwerpunkt des rechten Unterschenkels mit Fuss lag 26,9 cm unter der Knieaxe und 16,1 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes, genau am Ansatz des Ligamentum interosseum an der Tibia.

Der Schwerpunkt des rechten Fusses lag 11,4 cm von dem hinteren Fussrande und 15,1 cm von der Fussspitze entfernt, an dem Winkel des unteren und äusseren Randes des dritten Keilbeines, nahe seinem Ansatze am Naviculare.

Der Schwerpunkt des linken Oberschenkels allein lag 19,5 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes und 21,5 cm über der Axe des Kniegelenkes, 1,5 cm hinter der Linea aspera des Oberschenkelknochens, etwas medianwärts.

Der Schwerpunkt der gesammten linken unteren Extremität lag 38,5 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes, 2,5 cm über der Axe des Kniegelenkes, 0,7 cm vor dem hinteren Rande des Femurknochens und etwas lateralwärts, im Knochen selbst.

Der Schwerpunkt des linken Unterschenkels allein lag 17,7 cm unter der Knieaxe, 25,2 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes und 1 cm hinter dem Ligamentum interosseum, näher an der Tibia, im Muskelfleisch der Flexoren.

Der Schwerpunkt des linken Unterschenkels mit Fuss lag 26 cm unter der Knieaxe, 19,9 cm über der Fussaxe, an der Ansatzstelle des Ligamentum interosseum an der Tibia.

Der Schwerpunkt des linken Fusses lag 11,8 cm von dem hinteren Fussrande und 15,1 cm von der Fussspitze entfernt, in dem Winkel zwischen dem dritten Keilbein und Cuboideum an der Plantarseite, hart an dem Gelenk des dritten Keilbeines und Naviculare.

Gewichte vom Cadaver Nr. III.

(Die Zahlen bedeuten Gramm.)

Körpertheile	rechts	links
Ganzer Körper	60750	
Kopf ohne Hals	4040	
Rumpf ohne Extremitäten. . .	28850	
Ganzer Arm	3550	3480
Oberarm	1990	1880
Unterarm mit Hand	1550	1600
Unterarm ohne Hand.	1050	1120
Hand	500	470
Ganzes Bein	10650	10250
Oberschenkel	6690	6220
Unterschenkel mit Fuss . . .	3950	3980
Unterschenkel ohne Fuss . . .	2870	2880
Fuss	1060	1090

Auch hier wird die Summe der Gewichte der einzelnen Theile kleiner sein müssen als das Gesammtgewicht, weil die Gewichte sowohl von den Gesammtgliedern als von den einzelnen Theilen besonders genommen sind, und durch die Sägeschnitte Verluste eintreten.

Dimensionen vom Cadaver Nr. III.

Länge des ganzen Cadavers: 166 cm.

Kopfhöhe (unterer Kinnrand bis Scheitel in der Verticalprojection): 20,2 cm.

Länge des Oberschenkels: rechts 42,0 cm, links 41,0 cm.

Länge des Unterschenkels: rechts 43,0 cm, links 42,9 cm.

Fusshöhe: rechts 7,7 cm, links 7,7 cm.

Fusslänge: rechts 26,5 cm, links 26,9 cm.

Entfernung beider Hüftgelenkmittelpunkte von einander: 17,5 cm.

Länge des Oberarmes: rechts 30,6 cm, links 30,2 cm.

Länge des Unterarmes (ohne Hand): rechts 26,3 cm, links 27,1 cm.

Die Maasse sind immer von einer Gelenkaxe (resp. Gelenkmittelpunkt) zur anderen genommen.

IV. Cadaver.

Frischer, muskulöser, nicht fettreicher, noch in Todtenstarre befindlicher Leichnam eines Arbeiters, der sich erhängt hatte. Der Leib war nicht aufgetrieben, etwas eingesunken, so dass der Thoraxrand, der Processus xyphoideus und die Darmbeinkämme sich deutlich heraushoben. Der Cadaver ward in glatter Rückenlage zum Frieren gebracht. Die Unterarme befanden sich dabei in geringer Beugestellung und mittlerer Pronation.

Um hier von vornherein genaue Marken zu gewinnen für die Anlegung der Sägeflächen durch die Gelenkaxen, wurden vor dem Frieren Drahtstifte an bestimmten Stellen eingeschlagen und Linien auf dem Körper gezogen, da sich später wegen der gleichmässigen Härte des gefrorenen Körpers die Knochenprominenzen nicht mehr so gut bestimmen lassen.

1. wurden von vorn nach hinten Stifte durch die Mitte der Humerusköpfe geschlagen;
2. wurde die Axe des Cubitalgelenkes bestimmt und durch eine Querlinie markirt;
3. wurde durch die Gegend des Mittelpunktes vom Capitatumköpfchen beiderseits ein Drahtstift geschlagen;
4. wurden die Spinae ilei anteriores superiores mit Marken versehen;
5. wurde beiderseits der obere Rand der grossen Trochanteren markirt, um die Höhe des Mittelpunktes vom Caput femoris zu gewinnen;
6. wurde die Axe des Kniegelenkes bestimmt und beiderseits durch eine Querlinie markirt;
7. wurde die Axe des Tibio-Talusgelenkes bestimmt und durch eine Querlinie beiderseits bezeichnet.

Durch Projection dieser Linien und Punkte auf die horizontale Tischplatte wurde gleichzeitig auch die Messung der Dimensionen des Körpers erleichtert.

Der Leichnam hatte eine Länge von 168,8 cm und wog 56090 g.

Der Schwerpunkt des ganzen Körpers fiel in die Höhle des kleinen Beckens. Er lag in der Medianebene des Körpers, 2,1 cm senkrecht unter dem Promontorium und 4,5 cm über der Verbindungslinie beider Mittelpunkte der Oberschenkelköpfe, in gleicher Höhe mit dem oberen Rande vom dritten Kreuzbeinwirbel, 7 cm davor, und 7 cm höher als der obere Rand der Symphyse.

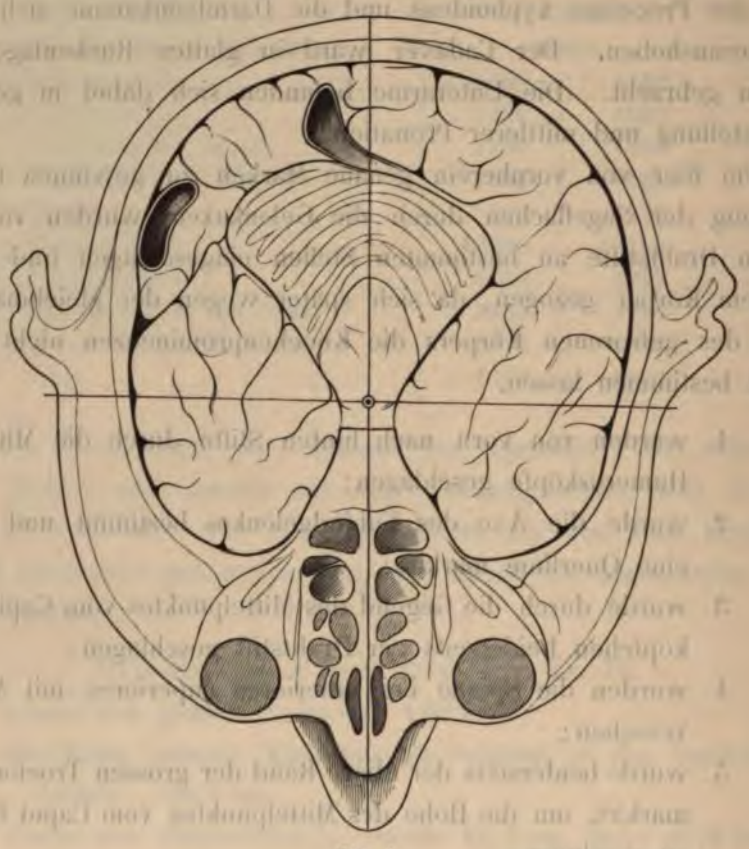


Fig. 1.

Schwerpunktslage im Kopfe. 1/2 der natürlichen Grösse. ⊙ Schwerpunkt.

Der Schwerpunkt des Rumpfes allein (ohne Kopf und ohne Arme) lag am oberen Rande des ersten Lendenwirbels an der vorderen Fläche und zwar 0,5 cm nach rechts von der Medianebene, 25,8 cm über der Verbindungslinie der Mittelpunkte der Oberschenkelköpfe.

Der Schwerpunkt vom Rumpf mit Kopf und Armen lag nahezu in der Medianebene; er wich nur 0,2 cm nach rechts ab. Er lag am vorderen Rande der unteren Fläche des elften Brust-

wirbelkörpers, 29 cm über der Verbindungslinie der Mittelpunkte der Oberschenkelköpfe.

Der Kopf wurde in der Weise abgesägt, dass die Säge hart unter dem Kinn nach hinten und aufwärts geführt wurde, um möglichst vollständig den Kopf vom Halse zu trennen. Die nachträgliche Untersuchung zeigte, dass nur die oberen drei Halswirbel in Verbindung mit dem Schädel geblieben waren.

Der Schwerpunkt des Kopfes lag genau in der Medianebene, 0,7 cm hinter der Lehne des Türkensattels, in der Fossa Tarini

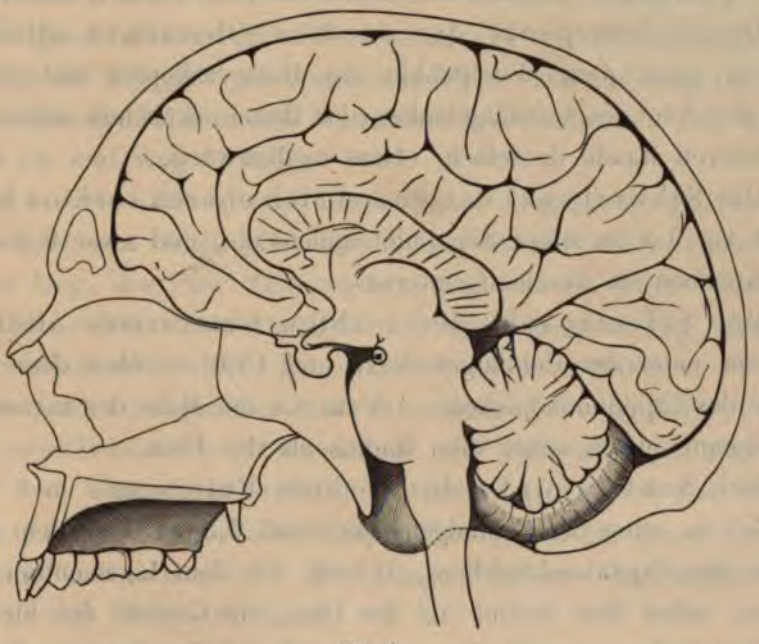


Fig. 2.

Schwerpunktslage im Kopfe. $^1/_2$ der natürlichen Grösse. ⊙ Schwerpunkt.

der Hirnbasis, gerade in der Ecke, welche der obere Rand der Brücke mit der Lamina perforata posterior bildet (Fig. 1 u. 2).

Die ganze rechte obere Extremität wog 3520 g; die Länge des rechten Oberarmes betrug 32 cm, das Gewicht desselben 1730 g; die Länge des rechten Unterarmes ohne Hand betrug 27 cm; der rechte Unterarm mit Hand wog 1790 g, ohne Hand 1300, die Hand allein 490 g.

Die ganze linke obere Extremität wog 3710 g; die Länge des linken Oberarmes betrug 32 cm, das Gewicht desselben 2020 g; die Länge des linken Unterarmes ohne Hand betrug 27 cm; der

linke Unterarm mit Hand wog 1690 g, der Unterarm allein 1240 g, die Hand allein 450 g.

Da die Längen der beiden Extremitäten und ihrer Stücke auf beiden Seiten sich nur um wenige Millimeter unterschieden, so haben wir in diesem Falle das arithmetische Mittel gezogen, um ganz symmetrische Verhältnisse zu bekommen. Die Gewichte haben wir dagegen beibehalten. Um ein genaues Bild von der Lage des Schwerpunktes in der rechten oberen und unteren Extremität zu geben, haben wir für diesen Cadaver die Schnittflächen mit den eingetragenen Schwerpunktslagen abbilden lassen und auf Tafel I und II niedergelegt.

Der Schwerpunkt des rechten Oberarmes allein lag 16,3 cm unter dem Mittelpunkte des Humeruskopfes und 15,7 cm über der Axe des Cubitalgelenkes, im Humerusknochen selbst, nahe am hinteren Rande desselben, etwas medianwärts.

Der Schwerpunkt der gesammten oberen rechten Extremität lag 0,5 cm unter der Cubitalgelenkaxe, und zwar 0,3 cm vor dem Knochen im Brachialis internus.

Der Schwerpunkt des rechten Unterarmes allein lag 14,4 cm unter der Cubitalgelenkaxe und 15,6 cm über dem Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, 1,5 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum, etwas näher dem Radius als der Ulna.

Der Schwerpunkt des rechten Unterarmes mit Hand lag 17,7 cm unter der Cubitalgelenkaxe und 9,3 cm über dem Mittelpunkte des Capitatumköpfchens, 0,5 cm vor dem Ligamentum interosseum, näher dem Radius als der Ulna, im Gebiete der Flexoren.

Der Schwerpunkt der rechten Hand (bei flectirten Fingern) lag 5,5 cm unter dem Köpfchenmittelpunkte vom Capitatum, zwischen dem dritten Metacarpus und der Hohlhandfläche, 1 cm von der letzteren entfernt.

Der Schwerpunkt des linken Oberarmes allein lag 15,3 cm unter dem Mittelpunkte des Humerus und 16,7 cm über der Cubitalgelenkaxe, ganz entsprechend dem der anderen Seite.

Der Schwerpunkt der ganzen linken oberen Extremität lag 0,5 cm über der Cubitalgelenkaxe und zwar 0,5 cm vor dem Knochen.

Der Schwerpunkt des linken Unterarmes allein lag 14,9 cm unterhalb der Cubitalgelenkaxe und 15,1 cm über dem Cen-

trum des Köpfchens vom Capitatum, ebenfalls vor der Mitte des Ligamentum interosseum im Gebiete der Flexoren.

Der Schwerpunkt des linken Unterarmes mit Hand lag 17,9 cm unter der Cubitalgelenkaxe und 9,1 cm über dem Mittelpunkte des Köpfchens vom Capitatum, 0,5 cm vor dem Ligamentum interosseum, näher dem Radius als der Ulna.

Der Schwerpunkt der linken Hand (bei flectirten Fingern) lag 5 cm unter dem Köpfchen des Capitatum, ganz entsprechend der Lage an der rechten Hand.

Die ganze untere rechte Extremität, von der Mitte des Femurkopfes bis zur Fusssohle gemessen, war 88 cm lang und wog 10070 g.

Die ganze linke untere Extremität hatte ebenfalls die Länge von 88 cm und wog 10630 g.

Der rechte Oberschenkel besass eine Länge von 40 cm und ein Gewicht von 6150 g. Der rechte Unterschenkel allein war 41,5 cm lang, der Fuss 26,5 cm lang und 6,5 cm hoch. Das Gewicht des rechten Unterschenkels mit Fuss betrug 3960 g, das des Unterschenkels allein 2970 g und das des Fusses 990 g.

Der linke Oberschenkel war 40 cm lang und wog 6750 g. Der linke Unterschenkel war 41,5 cm lang, der Fuss 26,5 cm lang und 6,5 cm hoch. Das Gewicht des linken Unterschenkels mit Fuss betrug 3900 g, das des Unterschenkels allein 2900 g, das des Fusses 1000 g.

Auch hier waren von den Längen beider Extremitäten die arithmetischen Mittel genommen.

Der Schwerpunkt des rechten Oberschenkels allein lag 17 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes und 23 cm über der Kniegelenkaxe, 1,5 cm hinter der Linea aspera, etwas medianwärts.

Der Schwerpunkt der gesammten unteren rechten Extremität lag 35,5 cm unter dem Mittelpunkte des Oberschenkelkopfes und 4,5 cm über der Kniegelenkaxe, 1 cm hinter dem Schenkelknochen.

Der Schwerpunkt des rechten Unterschenkels allein lag 17 cm unterhalb der Kniegelenkaxe und 24,5 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes, 0,7 cm hinter dem Ligamentum interosseum, etwas näher der Tibia als der Fibula.

Der Schwerpunkt des rechten Unterschenkels mit Fuss lag 25 cm unter der Kniegelenkaxe und 16,5 cm über der Axe

des Tibio-Talusgelenkes, genau am Ansatz des Ligamentum interosseum an der Tibia.

Der Schwerpunkt des rechten Fusses lag 12 cm vor dem hinteren Fussrande und 14,5 cm hinter der Fussspitze, 3 cm über der Fusssohle, unter dem dritten Keilbeine, nahe dessen vorderem Rande.

Da die relativen Lagen der Schwerpunkte nach Breite und Tiefe an der linken unteren Extremität fast dieselben waren wie rechts (Tafel II), so sollen nur die Höhen angegeben werden.

Der Schwerpunkt des linken Oberschenkels allein lag 15,5 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes und 24,5 cm über der Kniegelenkaxe.

Der Schwerpunkt der gesammten linken Extremität lag 33 cm unter dem Mittelpunkte des Femurkopfes und 7 cm über der Knieaxe.

Der Schwerpunkt des linken Unterschenkels allein lag 17,5 cm unter der Knieaxe und 24 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes.

Der Schwerpunkt des linken Unterschenkels mit Fuss lag 25,5 cm unter der Knieaxe und 16 cm über der Axe des Tibio-Talusgelenkes.

Der Schwerpunkt des linken Fusses lag genau so wie der des rechten.

Gewichte vom Cadaver Nr. IV.

(Die Zahlen bedeuten Gramm.)

Körpertheile	rechts	links
Ganzer Körper	55700	
Kopf ohne Hals	3930	
Rumpf ohne Extremitäten	23780	
Ganzer Arm	3520	3710
Oberarm	1730	2020
Unterarm mit Hand	1790	1690
Unterarm ohne Hand	1300	1240
Hand	490	450
Ganzes Bein	10110	10650
Oberschenkel	6150	6750
Unterschenkel mit Fuss	3960	3900
Unterschenkel ohne Fuss	2970	2900
Fuss	990	1000

Hierbei sind schon die Differenzen der Summen der Einzelgewichte mit den Gesammtgewichten, welche von den Verlusten durch das Sägen herrühren, ausgeglichen, um die Gewichte für die spätere Berechnung direct verwenden zu können.

Dimensionen vom Cadaver Nr. IV.

Länge des ganzen Cadavers: 168,8 cm.
Kopfhöhe (unterer Kinnrand bis Scheitel in der Verticalprojection): 21,3 cm.
Entfernung des unteren Kinnrandes von der Verbindungslinie der Mittelpunkte der Humerusköpfe: 10,1 cm.
Entfernung der Verbindungslinie der Schulterkopfmittelpunkte von der der Hüftgelenkmittelpunkte: 49 cm.
Länge des Oberschenkels: rechts 40 cm, links 40 cm.
Länge des Unterschenkels: rechts 41,5 cm, links 41,5 cm.
Fusshöhe: rechts 6,5 cm, links 6,5 cm.
Fusslänge: rechts 26,5 cm, links 26,5 cm.
Entfernung beider Hüftgelenkmittelpunkte von einander: 17 cm.
Länge des Oberarmes: rechts 32 cm, links 32 cm.
Länge des Unterarmes: rechts 27 cm, links 27 cm.
Entfernung beider Humeruskopfmittelpunkte von einander: 36 cm (Schultern nach vorn gerückt).

Der Berechnung halber wurden die Mittel aus den Extremitätenlängen genommen und für beide angesetzt.

Bei den Bestimmungen der Schwerpunktslage in den einzelnen Gliederabschnitten ergab sich mit ziemlicher Annäherung eine bemerkenswerthe Beziehung derselben zu den Gelenkaxen. Beim Oberarm wie beim Oberschenkel lag der Schwerpunkt fast genau in der geraden Linie, welche durch den Mittelpunkt des Gelenkkopfes einerseits und die Mitte der Gelenkaxe am Cubital- und Kniegelenk andererseits geht. Beim Unterschenkel fiel der Schwerpunkt nahezu in die gerade Linie, welche die Mitte der Kniegelenkaxe und die Mitte des Tibio-Talusgelenkes verbindet. Am Unter-

arm lag bei mittlerer Pronationsstellung der Schwerpunkt in der geraden Linie, welche durch den Mittelpunkt des Capitatumköpfchens und die Mitte der Cubitalaxe geht.

Beim Rumpfe wurde die Wirbelsäulenkrümmung zu Grunde gelegt, wie sie bei gefrorenen Cadavern in der platten Rückenlage sich findet. Die von den Brüdern Weber zu Grunde gelegte Krümmung wurde deshalb nicht benutzt, weil sie den natürlichen Verhältnissen nicht vollständig entspricht, da sie am eventrirten Cadaver bestimmt wurde, die Entfernung der Eingeweide aber die Krümmung der Wirbelsäule wesentlich ändert, wie Parow (Virchow's Archiv, Bd. 31) nachgewiesen hat.

Auch am Rumpfe zeigte sich, dass der Schwerpunkt des Rumpfes allein, ohne Kopf und ohne Arme, bei der Haltung, welche er beim Frieren eingenommen hatte, ganz bestimmte Beziehungen zu den Gelenken aufwies; er lag nämlich nahezu in einer geraden Linie, welche den Mittelpunkt der Verbindungslinie der beiden Hüftgelenkscentren mit der Mitte des Atlanto-Occipitalgelenkes verbindet.

Wenn man gleich schon aus den jetzigen Befunden mit grosser Annäherung constatiren konnte, dass übereinstimmend bei allen Extremitätenstücken der Schwerpunkt in der geraden Linie lag, welche die Mitten der jedesmaligen Nachbargelenke mit einander verbindet, wodurch eine wesentliche Vereinfachung der folgenden Rechnung bedingt ist, so bleibt es doch einer späteren Arbeit vorbehalten, diese Gesetzmässigkeit der Schwerpunktslagen noch genauer auf individuelle Abweichungen hin zu untersuchen.

Diese Verhältnisse gaben uns die Möglichkeit, eine aufrechte Körperhaltung zu construiren, bei welcher alle Schwerpunkte mit Ausnahme derer der Füsse in eine einzige Frontalebene zu liegen kommen. Man hat zu dem Zwecke nur nöthig, die Mitten aller Hauptgelenke in diese Ebene zu bringen.

Um nun zu untersuchen, ob eine solche aufrechte Stellung des Körpers möglich ist, bei welcher die Mitten aller Hauptgelenke und die dazwischen liegenden Schwerpunkte der einzelnen Körperabschnitte in eine einzige senkrechte Frontalebene fallen, haben wir eine Skeletconstruction für diese Haltung angefertigt und mit einem normalen, gut gebauten, lebenden Körper verglichen.

Wir nahmen dazu die Maasse vom Cadaver IV und trugen die-

selben auf Millimeterpapier in natürlicher Grösse ein, sowohl in der Profilansicht, wie in der Ansicht von vorn. Darauf construirten wir zunächst nach den Maassen das Skelet, legten darum die Contouren der Weichtheile und trugen dann die direct durch Messung gefundenen Schwerpunkte ein. Da wir zuerst die Gelenkaxen am Cadaver markirt hatten und die Lage der Schwerpunkte innerhalb der einzelnen Abschnitte zu den Gelenken und Knochen kannten, so liessen sich die Knochen und ihre Gelenkverbindungen und die Schwerpunkte ohne willkürliche Zuthat aufzeichnen (Tafel III). Durch die Schnitte waren wir ausserdem noch in die günstige Lage gebracht, neben den Längen- auch die Dickenverhältnisse von Knochen und Weichtheilen berücksichtigen zu können.

In natürlicher Grösse und auf Millimeterpapier haben wir die Zeichnung angefertigt, damit sich die Gelenke und Schwerpunkte auf ein rechtwinkliges Coordinatensystem beziehen lassen. Die beiden Ansichten geben zwei Projectionen auf zwei zu einander senkrechte Ebenen und liefern somit alle drei Coordinaten eines darauf gegründeten rechtwinkligen Coordinatensystemes.

Die Frontalebene machten wir zur *YZ*-Ebene, indem die Schnittlinie der Medianebene des Körpers mit dieser Frontalebene als *Z*-Axe und die Schnittlinie der Frontalebene mit der horizontalen Bodenfläche, auf der der Körper stand, als *Y*-Axe eingeführt wurde. Die Senkrechte zu dieser Ebene im Schnittpunkte *O* der beiden Axen musste demnach als *X*-Axe bezeichnet werden. Als positive Richtungen der *X*-Axe, *Y*-Axe und *Z*-Axe wurden bezüglich die Richtungen nach vorn, rechts und oben vom Coordinatenanfangspunkte *O* aus genommen. Die Profilansicht gab bei dieser Festsetzung die Projection auf die *XZ*-Ebene und die horizontale Bodenfläche fiel mit der *XY*-Ebene zusammen.

Unter der Annahme, dass der Schwerpunkt des Rumpfes ganz genau in die Ebene durch die Mittelpunkte beider Hüftgelenke und des Atlanto-Occipitalgelenkes fällt, wurde daraufhin eine Wirbelsäulenkrümmung construirt. Diese liess sich in gute Uebereinstimmung bringen mit den Bildern, welche Medianschnitte an gefrorenen Cadavern zeigen.

Die Armlage wurde etwas geändert; es wurden nämlich die Arme in der Zeichnung so weit nach vorn genommen, bis die

Mittelpunkte der Humerusköpfe und die Schwerpunkte der einzelnen Abschnitte in die *XY*-Ebene zu liegen kamen. Die Verschiebung war keine grosse, so dass die Lage des Gesammtschwerpunktes keine wesentliche Veränderung dadurch erfahren konnte. Diese beiden Constructionsbilder sind photographisch verkleinert worden, im Verhältniss von 1 : 10, so dass darauf je ein Millimeter einem Centimeter in der Wirklichkeit entspricht. Die Figuren finden sich auf Tafel III.

Es musste natürlich nun untersucht werden, ob diese so construirte Stellung auch im Leben vorkommt, und in wie weit auch die horizontale Rückenlage übertragbar ist auf die aufrechte Stellung.

Dass die Krümmung der Wirbelsäule bei beiden Haltungen des Körpers ganz die nämliche bleibt, ist freilich nicht zu erwarten. Es wird aber genügen, wenn beide Haltungen sich nur annähernd gleichen; denn am Lebenden directe bis ins Feinste gehende Messungen über die Krümmung der Wirbelsäule anzustellen, ist unmöglich. Selbst der Coordinatenmesser von Parow (Virchow's Archiv Bd. 31, pag. 105 ff.), der die Krümmung der Wirbelsäule aus der Lage der Processus spinosi construirt, leistet wie bekannt nur annähernd Richtiges. Wir glaubten aber mit folgendem Verfahren ausreichen zu können.

Ein sehr gut gebauter, muskelkräftiger junger Mann (Soldat) wurde zu photographischen Aufnahmen in Profilansicht benutzt, nachdem vorher die Gelenkmittelpunkte auf die Körperoberfläche aufgetragen waren, wie bei den Constructionsbildern, und nachdem ferner der Schwerpunkt des Kopfes auf die Seitenfläche projicirt und markirt worden war. Zwei lange Senkelfäden bestimmten die *YZ*-Ebene. Der Mann musste so lange seine Stellung ändern, bis er von selbst eine Haltung einnahm, bei welcher ein entfernt stehender Beobachter alle markirten Gelenkpunkte in die senkrechte Ebene der Senkelfäden (*YZ*-Ebene) einvisiren konnte. In dieser Haltung wurde er dann photographirt, wie Tafel IV zeigt. Der linke Arm musste dabei gebeugt gehalten werden, um die Projection des Hüftgelenkmittelpunktes nicht zu verdecken. Wenn dadurch auch der Schwerpunkt etwas verrückt wird, so ist diese Verschiebung doch eine so geringe, dass sie gegenüber dem Vortheil, welchen die Sichtbarmachung der Hüftaxe bietet, nicht in Betracht kommt. Die spätere Berechnung wird zeigen, dass dadurch

der Schwerpunkt nur um 7 mm höher, 4 mm weiter nach vorn und 1 mm weiter nach rechts zu liegen kommt.

Beim Vergleich der Bilder auf Tafel III und IV wird man eine gute Uebereinstimmung der wirklichen Körperhaltung mit der construirten finden und erkennen, dass unsere construirte Haltung durchaus keine gezwungene ist, sondern als eine natürliche bezeichnet werden darf. Der Thorax springt zwar beim Lebenden etwas weiter vor als bei unserem Constructionsbild, und die Einziehung des unteren Rückentheiles ist ebenfalls etwas grösser; das sind aber wohl Differenzen, die als individuelle und variable angesehen werden können. Der Typus der Wirbelsäulenkrümmung und die Haltung des Kopfes sind dieselben wie bei dem Constructionsbilde auf Tafel III, wenn auch die Krümmungen der einzelnen Abschnitte der Wirbelsäule etwas schärfer ausgeprägt sein mögen.

Das Hauptsächlichste, der Aufbau der unteren Extremitäten, die Haltung des Beckens und die Haltung des Kopfes, entspricht vollständig unserem Constructionsbilde.

Es mag vorläufig dahin gestellt bleiben, ob diese Stellung auch eine sehr bequeme ist. Dies zu bestimmen, lag gar nicht in unserem Plane; wir werden aber an einer späteren Stelle (pag. 633 u. 634) auf diese Frage zurückkommen. Wir hatten zunächst nur das eine Ziel im Auge, eine natürliche, für Messungen und Berechnungen geeignete Ausgangsstellung zu normiren. Wir wollen diese Stellung als Normalstellung bezeichnen.

Um nun eine Controle über unsere Messungen der Schwerpunkte, sowohl der einzelnen Glieder als des ganzen Körpers auszuüben, wurden aus den Schwerpunktslagen der einzelnen Gliederabschnitte die Schwerpunktslagen der Gliedersysteme und des ganzen Körpers für die Normalstellung durch Rechnung bestimmt.

Bezieht man bei der Normalstellung die Gelenkmittelpunkte sowohl als die gemessenen Schwerpunkte der einzelnen Glieder auf das oben festgelegte Coordinatensystem, so erhält man die folgenden Coordinatenwerthe, welche direct aus Tafel III abgelesen werden können.

Coordinaten der Gelenkmittelpunkte, des Scheitels, der Fussspitzen und des unteren Endes der gekrümmten Hände (bei flectirten Fingern).

Coordinaten für		x	y	z
(1) Scheitel		0	0	168,8
(2) Atlanto-Occipitalgelenk		0	0	154,0
(3) Hüftgelenk	r	0	+ 8,5	88,0
	l	0	— 8,5	88,0
(4) Kniegelenk	r	0	+ 8,5	48,0
	l	0	— 8,5	48,0
(5) Tibio-Talusgelenk	r	0	+ 8,5	6,5
	l	0	— 8,5	6,5
(6) Fussspitze	r	+ 20,5	+ 13,0	0
	l	+ 20,5	— 13,0	0
(7) Schultergelenk	r	0	+ 18,0	137,0
	l	0	— 18,0	137,0
(8) Cubitalgelenk	r	0	+ 18,0	105,0
	l	0	— 18,0	105,0
(9) Handgelenk	r	0	+ 18,0	78,0
	l	0	— 18,0	78,0
(10) Unteres Ende der gekrümmten Hand	r	0	+ 18,0	67,5
	l	0	— 18,0	67,5

Anmerkung: Da die Figuren auf Tafel III in zehnfacher Verkleinerung aufgetragen sind, so bedeuten die Zahlen, welche für die Figur die Anzahl der Millimeter angeben, in Wirklichkeit Centimeter. Dasselbe gilt für die folgenden Coordinaten der Schwerpunkte.

Coordinaten der Schwerpunkte

von		x	y	z
(1, 2) Kopf		0	0	157,8
(2, 3) Rumpf		0	+ 0,5	113,8
(3, 4) Oberschenkel	r	0	+ 8,5	71,0
	l	0	— 8,5	72,5
(4, 5) Unterschenkel	r	0	+ 8,5	31,0
	l	0	— 8,5	30,5
(5, 6) Fuss	r	+ 6,5	+ 10,3	3,0
	l	+ 6,5	— 10,3	3,0
(7, 8) Oberarm	r	0	+ 18,0	120,7
	l	0	— 18,0	121,7
(8, 9) Unterarm	r	0	+ 18,0	93,6
	l	0	— 18,0	93,1
(9, 10) Hand	r	0	+ 18,0	72,5
	l	0	— 18,0	73,0
(1, 6, 7, 10) Ganzer Körper		0	0	92,5
(1, 3, 7, 10) Rumpf + Kopf + Arme		0	0	117,0
(3, 6) Ganzes Bein	r	0	+ 8,5	52,5
	l	0	— 8,5	55,0
(4, 6) Unterschenkel + Fuss	r	0	+ 8,5	23,0
	l	0	— 8,5	22,5
(7, 10) Ganzer Arm	r	0	+ 18,0	104,5
	l	0	— 18,0	105,5
(8, 10) Unterarm + Hand	r	0	+ 18,0	87,3
	l	0	— 18,0	87,1

Die eingeklammerten Zahlen vor den Worten Kopf, Rumpf u. s. w. beziehen sich auf die Numerirung der Gelenke, Fussspitzen u. s. w., wie sie in der vorhergehenden Coordinatentabelle angegeben ist. Dieselben bieten ein bequemes Mittel, einen bestimmten Körperabschnitt kurz zu bezeichnen. So ist z. B. der Oberschenkel mit (3, 4) bezeichnet worden, weil er zwischen den Gelenken (3) und (4) liegt. Man hat dadurch die Möglichkeit gewonnen, die Coordinaten der Gelenkmittelpunkte und Schwerpunkte ohne viel Worte von einander zu unterscheiden. So kann man z. B. die Coordinaten des Hüftgelenkmittelpunktes mit x_3, y_3, z_3 und die Coordinaten des Oberschenkelschwerpunktes mit $x_{3,4}$, $y_{3,4}$, $z_{3,4}$ bezeichnen. Will man noch den Unterschied zwischen der rechten und linken Seite in der

Coordinatenbezeichnung ausdrücken, so hätte man etwa die Coordinaten des linken Hüftgelenkmittelpunktes durch x'_3, y'_3, z'_3 und des linken Oberschenkelschwerpunktes durch $x'_{3,4}$, $y'_{3,4}$, $z'_{3,4}$ zu bezeichnen, während man bei den Coordinaten für die rechte Seite die Striche fortlässt. Wir werden an einer späteren Stelle von dieser Bezeichnungsweise Gebrauch machen. Die Coordinaten des Gesammtschwerpunktes des Körpers werden wir der Einfachheit halber durch x_0, y_0, z_0 ausdrücken.

Da zu den Berechnungen die Gewichte der Gliederabschnitte nothwendig sind, so sind sie in nachstehender Tabelle noch einmal in gleicher Weise wie die Coordinaten zusammengestellt.

Bei den Berechnungen kommt es nur auf die Verhältnisse der Gewichte an, wir haben daher dieselben noch auf das Gesammtgewicht 10000 reducirt, was für die Berechnung des Gesammtschwerpunktes von Vortheil ist. Diese Gewichtszahlen sind in folgender Tabelle neben die wirklichen Gewichte gestellt worden.

Körpertheile		Gewichte in Grammen (von Cadaver IV) für	Gewichtszahlen, auf die Gewichtszahl 10000 des ganzen Körpers reducirt, für
(1, 2) Kopf		3930	705,5
(2, 4) Rumpf		23780	4270
(3, 4) Oberschenkel	r	6150	1104
	l	6750	1212
(4, 5) Unterschenkel	r	2970	533
	l	2900	520,5
(5, 6) Fuss	r	990	178
	l	1000	179,5
(7, 8) Oberarm	r	1730	310,5
	l	2020	362,5
(8, 9) Unterarm	r	1300	233
	l	1240	222,5
(9, 10) Hand	r	490	88
	l	450	81
(1, 6, 7, 10) Ganzer Körper		55700	10000

Entsprechend der Bezeichnung der Schwerpunktscoordinaten kann man das Gewicht p des rechten Oberschenkels durch $p_{3,4}$, das des linken Oberschenkels durch $p'_{3,4}$ ausdrücken u. s. w.

Berechnung des gemeinsamen Schwerpunktes ganzer Körperabschnitte und des ganzen Körpers aus den Schwerpunkten und Gewichten der einzelnen Glieder.

Da es sich bei den Schwerkräften um parallele Kräfte handelt, so soll zunächst dargelegt werden, auf welche Weise man zwei oder mehrere parallele Kräfte zu einer Resultante zusammensetzt. Es seien in nebenstehender Figur 3 A und B die Angriffspunkte zweier paralleler Kräfte von der Stärke p_1 und p_2, und AC und BD Strecken,

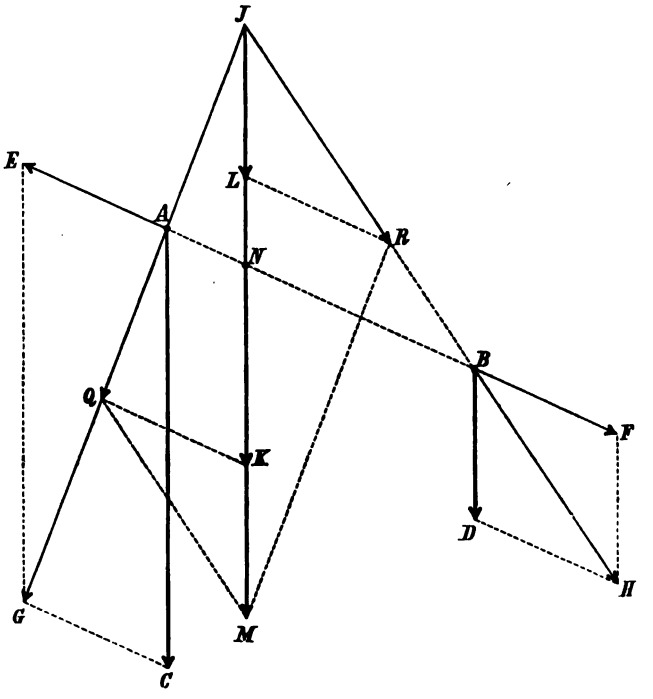


Fig. 3.

welche durch ihre Länge und Richtung die Grösse und Richtung der beiden Kräfte graphisch darstellen. Fügt man in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Angriffspunkte A und B zwei beliebig grosse, aber entgegengesetzt gleiche Kräfte hinzu, und zwar so, dass die eine im Punkte A und die andere im Punkte B angreift, so wird dadurch an der Wirkung des ursprünglichen Kräftesystems nichts geändert. Diese beiden neu hinzugefügten Kräfte sind in der Figur durch die Strecken AE und BF dargestellt; ihre Stärke sei q. Setzt

man nun die beiden in A angreifenden Kräfte zu ihrer Resultante AG, und die beiden in B angreifenden Kräfte zu ihrer Resultante BH zusammen, so sind diese beiden Resultanten zusammen immer noch äquivalent den beiden ursprünglichen Kräften p_1 und p_2. Dasselbe ist auch noch der Fall, wenn man die beiden Resultanten nach dem gemeinsamen Schnittpunkte J ihrer Richtungen verlegt, so dass J gemeinschaftlicher Angriffspunkt derselben wird. Diese beiden Kräfte JQ und JR setzen sich nun immer ihrerseits zu einer Resultante JM zusammen, welche zugleich die Resultante der ursprünglichen parallelen Kräfte ist.

Die Grösse dieser Resultante ist gleich der Summe der beiden parallelen Kräfte, also $= p_1 + p_2$; denn aus der Figur ist leicht ersichtlich, dass $\triangle GCA \cong \triangle QKJ \cong \triangle RLM$, und dass

$$\triangle HDB \cong \triangle RLJ \cong \triangle QKM \text{ ist. Es ist daher}$$
$$JK = AC = p_1 \text{ und } KM = BD = p_2;$$
$$\text{also } JM = p_1 + p_2 .$$

Aus der Congruenz der Dreiecke folgt ferner, dass JM parallel den beiden ursprünglichen Kräften verläuft. Die Resultante JM der parallelen Kräfte schneidet die Verbindungslinie der Angriffspunkte A und B im Punkte N. Die Abstände dieses Punktes N von A und B verhalten sich umgekehrt wie die in A und B angreifenden parallelen Kräfte; denn aus der Aehnlichkeit der Dreiecke ANJ und QKJ folgt die Proportion

$$AN : JN = q : p_1$$

und aus der Aehnlichkeit der Dreiecke BNJ und RLJ folgt die Proportion

$$BN : JN = q : p_2 .$$

Es ist also $JN \cdot q = AN \cdot p_1 = BN \cdot p_2$, und folglich

$$AN : BN = p_2 : p_1.$$

Würden die beiden parallelen Kräfte in anderer Richtung, aber immer noch parallel mit sich, verlaufen, und ebenso noch an den Punkten A und B angreifen, so würde man durch genau dieselbe Betrachtung zu dem Satze kommen, dass die Richtung der neuen Resultante der parallelen Kräfte die Verbindungslinie AB ihrer Angriffspunkte in einem Punkte schneidet, dessen Abstände von A und B sich

umgekehrt verhalten, wie die Kräfte p_1 und p_2. Dieser Schnittpunkt ist also wieder der Punkt N. Es gehen demnach die Richtungen aller Resultanten, welche man nach irgend einer Drehung der Kräfte p_1 und p_2 um ihre Angriffspunkte gewinnt, wenn die Kräfte nach der Drehung immer noch parallel sind, durch einen und denselben Punkt N. Sind die Kräfte p_1 und p_2 Schwerkräfte, so ist daher der Punkt N nach unserer früheren Definition der zugehörige Schwerpunkt.

Sind nun x_1, y_1, z_1 die Coordinaten des Angriffspunktes A der Kraft p_1, und x_2, y_2, z_2 die Coordinaten des Angriffspunktes B der Kraft p_2, und bezeichnet man mit x_0, y_0, z_0 die Coordinaten des Schwerpunktes N, so bestehen in Folge der Lage des Punktes N auf der Verbindungslinie AB die Proportionen:

$$(x_0 - x_1) : (x_2 - x_0) = p_2 : p_1 ,$$
$$(y_0 - y_1) : (y_2 - y_0) = p_2 : p_1 ,$$
$$(z_0 - z_1) : (z_2 - z_0) = p_2 : p_1 .$$

Daraus folgt für die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Schwerpunktes:

$$x_0 = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2}{p_1 + p_2} ,$$

$$y_0 = \frac{p_1 y_1 + p_2 y_2}{p_1 + p_2} ,$$

$$z_0 = \frac{p_1 z_1 + p_2 z_2}{p_1 + p_2} .$$

Hat man ein System von drei parallelen Kräften p_1, p_2, p_3, deren Angriffspunkte bezüglich die Coordinaten x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2 und x_3, y_3, z_3 besitzen, so setzen sich dieselben ebenfalls zu einer Resultante zusammen, welche man erhält, wenn man erst die Resultante von p_1 und p_2 bildet, und dann diese Resultante mit der dritten Kraft p_3 wiederum zu einer Resultante vereinigt. Man hat demnach zuletzt die Coordinaten x_0', y_0', z_0' des Schwerpunktes der beiden Kräfte $(p_1 + p_2)$ und p_3, deren Angriffspunkte die Coordinaten x_0, y_0, z_0 und x_3, y_3, z_3 haben, auf die oben angegebene Weise zu berechnen. Es wird

$$x_0' = \frac{(p_1 + p_2) x_0 + p_3 x_3}{(p_1 + p_2) + p_3} = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3}{p_1 + p_2 + p_3} ,$$

$$y_0' = \frac{(p_1 + p_2) y_0 + p_3 y_3}{(p_1 + p_2) + p_3} = \frac{p_1 y_1 + p_2 y_2 + p_3 y_3}{p_1 + p_2 + p_3} ,$$

$$z_0' = \frac{(p_1 + p_2) z_0 + p_3 z_3}{(p_1 + p_2) + p_3} = \frac{p_1 z_1 + p_2 z_2 + p_3 z_3}{p_1 + p_2 + p_3} .$$

Aus diesen drei Gleichungen ist das Gesetz zu ersehen, nach welchem n parallele Kräfte p_1, p_2, p_3, $\cdots\cdots p_n$ zu einer Resultante sich vereinigen lassen, und nach welchem man die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des gemeinsamen Schwerpunktes aller n Schwerkräfte findet. Es wird allgemein:

$$x_0 = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \cdots\cdots p_n x_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \cdots\cdots p_n} = \frac{\sum p_i x_i}{\sum p_i},$$

$$y_0 = \frac{p_1 y_1 + p_2 y_2 + p_3 y_3 + \cdots\cdots p_n y_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \cdots\cdots p_n} = \frac{\sum p_i y_i}{\sum p_i},$$

$$z_0 = \frac{p_1 z_1 + p_2 z_2 + p_3 z_3 + \cdots\cdots p_n z_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \cdots\cdots p_n} = \frac{\sum p_i z_i}{\sum p_i}.$$

Wie man aus den drei Gleichungen sieht, ändern sich die Werthe von x_0, y_0, z_0 nicht, wenn man an Stelle der wirklichen Gewichte p_i Verhältnisszahlen zwischen den einzelnen Gewichten einsetzt, z. B. die Verhältnisszahlen, welche man erhält, wenn man dem Gesammtgewichte des Körpers die Zahl 10000 beilegt. Man gewinnt dadurch den Vortheil, bei der Berechnung der Coordinaten des Gesammtschwerpunktes des Körpers für irgend eine Haltung desselben in allen drei Gleichungen mit einem bequemen Divisor, nämlich 10000, rechnen zu können. Es sollen daher bei den folgenden Rechnungen unter p_i diese Verhältnisszahlen, welche auf pag. 602 niedergelegt sind, verstanden werden.

Zur Berechnung der Coordinate z_0 des Schwerpunktes des Gesammtkörpers bei der Normalstellung desselben erhält man nun aus den auf pag. 601 und 602 angegebenen Coordinatenwerthen z_i und Verhältnisszahlen p_i vom Cadaver IV folgende Werthe der Producte $p_i z_i$*) für:

*) Diese Producte sind deshalb sämmtlich angeführt worden, weil sie bei den folgenden Berechnungen wiederkehren.

Kopf:	111327,9
Rumpf:	485926
rechter Oberschenkel:	78384
linker Oberschenkel:	87870
rechter Unterschenkel:	16523
linker Unterschenkel:	15875,25
rechter Fuss:	534
linker Fuss:	538,5
rechter Oberarm:	37477,35
linker Oberarm:	44116,25
rechter Unterarm:	21808,8
linker Unterarm:	20714,75
rechte Hand:	6380
linke Hand:	5913
In Summa:	933388,8.

Durch Division mit $\sum p_i = 10000$ erhält man demnach (auf eine Decimalstelle abgerundet) für z_0 den Werth 93,3 cm, während der direct gemessene Werth der Z-Coordinate 92,5 cm betrug.

Eine absolute Genauigkeit ist selbstverständlich nicht zu erzielen, da erstens beim Absägen der einzelnen Stücke durch das Sägemehl Theile verloren gehen, wodurch das Gewicht etwas verringert wird, und weil zweitens die Stellung, die der Körper einnahm bei der Messung, doch nicht absolut genau unserer Normalstellung entsprechen konnte. Lässt man die Schwerpunkte der Füsse ausser Rechnung und berechnet also nur den Schwerpunkt der Masse, welche auf den Füssen lastet und im Tibio-Talusgelenk balancirt wird, so hat man für

$$\begin{aligned}\sum p_i z_i &= 933388{,}8 - (534 + 538{,}5)\\ &= 932316{,}3.\end{aligned}$$

Dies ist nun zu dividiren durch $10000 - (178 + 179{,}5) = 9642{,}5$. Demnach wird die Z-Coordinate für den Schwerpunkt des Körpers ohne Füsse, wenn wir die betreffenden Coordinaten zum Unterschied mit x_0', y_0', z_0' bezeichnen:

$$z_0' = \frac{932316{,}3}{9642{,}5} = 96{,}7 \text{ cm}.$$

Zur Berechnung der Coordinate y_0 des Gesammtschwerpunktes des Körpers hat man folgende Werthe der Producte $p_i y_i$ für

Kopf:	0		
Rumpf:	+ 2135		
rechten Oberschenkel:	+ 9384	linken Oberschenkel:	— 10302
rechten Unterschenkel:	+ 4530,5	linken Unterschenkel:	— 4424,25
rechten Fuss:	+ 1833,4	linken Fuss:	— 1848,85
rechten Oberarm:	+ 5589	linken Oberarm:	— 6525
rechten Unterarm:	+ 4194	linken Unterarm:	— 4005
rechte Hand:	+ 1584	linke Hand:	— 1458
	Sa. + 29249,9		Sa. — 28563,1

folglich $\sum p_i y_i = 29249{,}9 - 28563{,}1 = 686{,}8$ und

$$y_0 = \frac{686{,}8}{10000} = + 0{,}07 \text{ cm.}$$

Die Berechnung ergiebt also nur eine Abweichung von 0,07 cm nach rechts von der Medianebene, während unsere directe Messung den Schwerpunkt in der Medianebene selbst fand.

Für die Y-Coordinate des Schwerpunktes des Körpers ohne die Füsse ergiebt sich:

$$y_0 = \frac{686{,}8 - (1833{,}4 - 1848{,}85)}{9642{,}5} = \frac{702{,}25}{9642{,}5} = + 0{,}07 \text{ cm,}$$

also genau derselbe Werth.

Bei der Berechnung der Coordinate x_0 des Gesammtschwerpunktes des Körpers haben für unsere Normalstellung nur die Producte $p_i x_i$, welche zu den Schwerpunkten der beiden Füsse gehören, einen von Null verschiedenen Werth, so dass sich ergiebt:

$$x_0 = \frac{178 \cdot 6{,}5 + 179{,}5 \cdot 6{,}5}{10000} = \frac{2323{,}75}{10000} = 0{,}2 \text{ cm,}$$

d. h. der Gesammtschwerpunkt des Körpers fällt bei unserer Haltung der Füsse 2 mm vor die Frontalebene, in der alle Schwerpunkte mit Ausnahme derer der Füsse liegen.

Die X-Coordinate des Schwerpunktes des Körpers ohne die Füsse ist dagegen gleich Null, da alle x_i den Werth Null haben.

Ausser den Coordinaten des Gesammtschwerpunktes des Körpers haben wir noch die Coordinaten der Schwerpunkte der Glieder-

systeme berechnet, deren Schwerpunkte wir direct experimentell aufgesucht hatten. Es ergiebt sich:

Für das ganze Bein.

Rechts:	$p_i z_i$	Links:	$p_i z_i$
Oberschenkel:	78384	Oberschenkel:	87870
Unterschenkel:	16523	Unterschenkel:	15875,25
Fuss:	534	Fuss:	538,5
Sa.:	95441	Sa.:	104283,75
Gewichte.		Gewichte.	
Oberschenkel:	1104	Oberschenkel:	1212
Unterschenkel:	533	Unterschenkel:	520,5
Fuss:	178	Fuss:	179,5
Sa.:	1815, folglich:	Sa.:	1912, folglich:

$z_{3,6} = \frac{95441}{1815} = 52{,}6$ cm

$y_{3,6} = + 8{,}5$ cm

$x_{3,6} = 0$ cm.

$z'_{3,6} = \frac{104283{,}75}{1912} = 54{,}5$ cm

$y'_{3,6} = + 8{,}5$ cm

$x'_{3,6} = 0$ cm.

Man vergleiche hier wie bei allen folgenden Berechnungen die durch Rechnung gefundenen Coordinatenwerthe mit den auf pag. 601 niedergelegten direct gemessenen.

Für den Unterschenkel + Fuss.

Rechts:	$p_i z_i$	Links:	$p_i z_i$
Unterschenkel:	16523	Unterschenkel:	15875,25
Fuss:	534	Fuss:	538,5
Sa.:	17057	Sa.:	16413,75
Gewichte.		Gewichte.	
Unterschenkel:	533	Unterschenkel:	520,5
Fuss:	178	Fuss:	179,5
Sa.:	711, folglich:	Sa.:	700, folglich:

$z_{4,6} = \frac{17057}{711} = 24{,}0$ cm $\qquad z'_{4,6} = \frac{16413{,}75}{700} = 23{,}5$ cm

$y_{4,6} = +\ 8{,}5$ cm $\qquad y'_{4,6} = -\ 8{,}5$ cm

$x_{4,6} = 0$ cm. $\qquad x'_{4,6} = 0$ cm.

Für den ganzen Arm.

Rechts:	$p_i z_i$	Links:	$p_i z_i$
Oberarm:	37477,35	Oberarm:	44116,25
Unterarm:	21808,8	Unterarm:	20714,75
Hand:	6380	Hand:	5913
Sa.:	65666,15	Sa.:	70744
Gewichte.		Gewichte.	
Oberarm:	310,5	Oberarm:	362,5
Unterarm:	233	Unterarm:	222,5
Hand:	88	Hand:	81
Sa.:	631,5, folglich:	Sa.:	666, folglich:

$z_{7,10} = \frac{65666{,}15}{631{,}5} = 104{,}0$ cm $\qquad z'_{7,10} = \frac{70744}{666} = 106{,}2$ cm

$y_{7,10} = +\ 18$ cm $\qquad y'_{7,10} = -\ 18$ cm

$x_{7,10} = 0$ cm. $\qquad x'_{7,10} = 0$ cm.

Für den Unterarm + Hand.

Rechts:	$p_i z_i$	Links:	$p_i z_i$
Unterarm:	21808,8	Unterarm:	20714,75
Hand:	6380	Hand:	5913
Sa.:	28188,8	Sa.:	26627,75
Gewichte.		Gewichte.	
Unterarm:	233	Unterarm:	222,5
Hand:	88	Hand:	81
Sa.:	321, folglich:	Sa.:	303,5, folglich:

$z'_{8,10} = \frac{28188{,}8}{321} = 87{,}8$ cm $\qquad z'_{8,10} = \frac{26627{,}75}{303{,}5} = 87{,}7$ cm

$y'_{8,10} = +\ 18$ cm $\qquad y'_{8,10} = -\ 18$ cm

$x'_{8,10} = 0$ cm. $\qquad x'_{8,10} = 0$ cm.

Für Rumpf + Kopf.

$p_i z_i$

Rumpf:	485926
Kopf:	111327,9
Sa.:	597253,9

Gewichte.

Rumpf:	4270
Kopf:	705,5
Sa.:	4975,5, folglich:

$$z_{1,3} = \frac{597253,9}{4975,5} = 120,0 \text{ cm},$$

$$y_{1,3} = \frac{2135}{4975,5} = 0,4 \text{ cm},$$

$$x_{1,3} = 0 \text{ cm}.$$

Für Rumpf + Kopf + Arme.

$p_i z_i$

Rumpf:		485926
Kopf:		111327,9
Ganzer Arm	r.:	65666,15
	l.:	70744
Sa.:		733664,05

Gewichte.

Rumpf:		4270
Kopf:		705,5
Ganzer Arm	r.:	631,5
	l.:	666
Sa.:		6273, folglich:

$$z_{1,3,7,10} = \frac{733664,05}{6273} = 117,0 \text{ cm}.$$

$p_i y_i$

Rumpf:		2135	Kopf:		0
Oberarm r.:		5589	Oberarm l.:	—	6525
Unterarm r.:		4194	Unterarm l.:	—	4005
Hand r.:		1584	Hand l.:	—	1458
Sa.:	+	13502	Sa.:	—	11988, folglich:

$$y_{1,3,7,10} = \frac{13502 - 11988}{6273} = \frac{1514}{6273} = + 0{,}2 \text{ cm},$$

$$x_{1,3,7,10} = 0.$$

Nimmt man eine gleichmässige und symmetrische Vertheilung der Massen im Körper an, so wird aus den Coordinaten der Schwerpunkte auf pag. 601 und den Gewichtszahlen auf pag. 602 das arithmetische Mittel zu nehmen sein. Es werden dann, wenn wir auch den Schwerpunkt des Rumpfes genau in die Medianebene verlegen, die mittleren Coordinatenwerthe der Schwerpunkte betragen:

Körpertheile	x	y	z
Kopf	0	0	157,8
Rumpf	0	0	113,8
Beide Oberschenkel	0	± 8,5	71,75
Beide Unterschenkel	0	± 8,5	30,75
Beide Füsse	+ 6,5	± 10,3	3
Beide Oberarme	0	± 18	121,2
Beide Unterarme	0	± 18	93,35
Beide Hände	0	± 18	72,75

Die positiven Werthe für y beziehen sich auf die rechte, die negativen auf die linke Körperhälfte.

Als Mittelwerthe für die Gewichte und für die Gewichtszahlen, das Gesammtgewicht = 10000 angenommen, folgen dann:

	Mittelwerthe der Gewichte:	Mittelwerthe der Gewichtszahlen:	(auf Ganze abgerundet)
Ganzer Körper:	55700 g	10000	10000
Kopf:	3930 g	705,5	706
Rumpf:	23780 g	4270	4270
Oberschenkel:	6450 g	1158	1158
Unterschenkel:	2935 g	526,75	527
Fuss:	995 g	178,75	179
Oberarm:	1875 g	336,5	336
Unterarm:	1270 g	227,75	228
Hand:	470 g	84,5	84

Die Berechnung der Schwerpunktscoordinaten, wenn eine gleichmässige und symmetrische Vertheilung der Massen angenommen wird, stellt sich folgendermassen:

Ganzer Körper.

$p_i z_i$ ist für

Kopf:	111327,9
Rumpf:	485926
Beide Oberschenkel:	166173
Beide Unterschenkel:	32395,125
Beide Füsse:	1072,5
Beide Oberarme:	81567,6
Beide Unterarme:	42520,925
Beide Hände:	12294,75
Sa.:	933277,8

$$z_0 = \frac{933277,8}{10000} = 93,3 \text{ cm},$$

$$y_0 = 0 \text{ cm},$$

$$x_0 = \frac{2 \cdot 6,5 \cdot 178,75}{10000} = 0,2 \text{ cm}.$$

Werden die Füsse fortgelassen, so folgt für $\sum p_i z_i$:

Ganzer Körper:	933277,8
Beide Füsse:	—1072,5
Sa.:	932205,3

Gewichte.

Ganzer Körper:	10000
Beide Füsse:	—357,5
Sa.:	9642,5 und somit ist:

$$z'_0 = \frac{932205,3}{9642,5} = 96,7 \text{ cm},$$

$$y'_0 = 0 \text{ cm},$$

$$x'_0 = 0 \text{ cm}.$$

Ganzes Bein.

(Sowohl für das rechte wie für das linke gültig.)

$p_i z_i$ ist für

Oberschenkel:	83086,5
Unterschenkel:	16197,5625
Fuss:	536,25
Sa.:	99820,3125

Gewichte.

Oberschenkel:	1158
Unterschenkel:	526,75
Fuss:	178,75
Sa.:	1863,5, folglich:

$$z_{3,6} = \frac{99820{,}3125}{1863{,}5} = 53{,}6 \text{ cm.}$$

$p_i y_i$

Oberschenkel:	9843
Unterschenkel:	4477,375
Fuss:	1841,125
Sa.:	16161,5, folglich:

$$y_{3,6} = \frac{16161{,}5}{1863{,}5} = 8{,}7 \text{ cm.}$$

(Für das linke Bein wird $y'_{3,6} = -8{,}7$ cm.)

$x_{3,6} = 0$ cm.

Unterschenkel + Fuss.

(Rechts wie links.)

$p_i z_i$

Unterschenkel:	16197,5625
Fuss:	536,25
Sa.:	16733,8125

Gewichte.

Unterschenkel:	526,75
Fuss:	178,75
Sa.:	705,5, folglich:

$$z_{4,6} = \frac{16733{,}8125}{705{,}5} = 23{,}7 \text{ cm}$$

$y_{4,6} = \pm 8{,}5$ cm

$x_{4,6} = 0$ cm.

Ganzer Arm.

(Rechts wie links.)

$p_i z_i$

Oberarm:	40783,8
Unterarm:	21260,4625
Hand:	6147,375
Sa.:	68191,6375

Gewichte.

Oberarm:	336,5
Unterarm:	227,75
Hand:	84,5
Sa.:	648,75, folglich:

$$z_{7,10} = \frac{68191,6375}{648,75} = 105,1 \text{ cm}$$

$$y_{7,10} = \pm 18 \text{ cm}$$

$$x_{7,10} = 0 \text{ cm}.$$

Unterarm + Hand.

(Rechts wie links.)

Unterarm:	21260,4625
Hand:	6147,375
Sa.:	27407,8375

Gewichte.

Unterarm:	227,75
Hand:	84,5
Sa.:	312,25, folglich:

$$z_{8,10} = \frac{27407,8375}{312,25} = 87,8 \text{ cm}$$

$$y_{8,10} = \pm 18 \text{ cm}$$

$$x_{8,10} = 0 \text{ cm}.$$

Kopf + Rumpf + beide Arme.

$p_i z_i$ für:

Kopf:	111327,9
Rumpf:	485926
beide Oberarme:	81567,6
beide Unterarme:	42520,925
beide Hände:	12294,75
Sa.:	733637,175

Gewichte.

Kopf:	705,5
Rumpf:	4270
beide Oberarme:	673
beide Unterarme:	455,5
beide Hände:	169
Sa.:	6273, folglich:

$$z_{1,3,7,10} = \frac{733637,475}{6273} = 117,0 \text{ cm}$$

$$y_{1,3,7,10} = 0 \text{ cm}$$

$$x_{1,3,7,10} = 0 \text{ cm}.$$

Kopf + Rumpf.

$p_i z_i$ für

Kopf:	111327,9
Rumpf:	485926
Sa.:	597253,9

Gewichte.

Kopf:	705,5
Rumpf:	4270
Sa.:	4975,5, folglich:

$$z_{1,3} = \frac{597253,9}{4975,5} = 120,0 \text{ cm}$$

$$y_{1,3} = 0 \text{ cm}$$

$$x_{1,3} = 0 \text{ cm}.$$

Aus dieser grossen Uebereinstimmung der berechneten Schwerpunktslagen mit den an demselben Cadaver direct gemessenen, welche auf pag. 601 niedergelegt sind, geht unter Anderem hervor, dass unsere Construction der aufrechten Körperhaltung nicht beträchtlich abweichen kann von der Stellung der Körpertheile zu einander in der horizontalen Rückenlage.

Um nun eine übersichtliche Darstellung der Schwerpunktslagen zu gewinnen, die zugleich eine Vergleichung der an den einzelnen Cadavern gewonnenen Resultate ermöglicht, sind dieselben in folgenden Tabellen zusammengestellt worden. Die erste (pag. 617 ff.) giebt die Resultate in extenso, die anderen (pag. 621 u. 622) geben die Verhältnisszahlen für die Abstände der Schwerpunkte der einzelnen

Glieder von den Gelenkmittelpunkten, die Länge jedes Gliedes gleich 1 angenommen, und die arithmetischen Mittel daraus.

Zusammenstellung der gefundenen Schwerpunktslagen des ganzen Körpers und der einzelnen Glieder an den drei Cadavern.

	Cadaver II	Cadaver III	Cadaver IV
Gesammtlänge.	170 cm.	166 cm.	168,8 cm.
Gesammtgewicht.	75100 g.	60750 g.	56090 g. (Siehe pag. 595.)
Schwerpunkt des ganzen Körpers.	Nahe am Promontorium, aber unter demselben.	4 cm vor dem unteren Rande des ersten Kreuzbeinwirbels, 0,2 cm nach rechts.	2,1 cm senkrecht unter dem Promontor., 7 cm vor dem oberen Rande des dritten Sacralwirbels.
Schwerpunkt des Kopfes.	Mit Hals. Am Clivus, genau in der Medianebene, an der Verbindungsstelle des Keilbeins und Occipitale.	Ohne Hals. Fossa Tarini, hinter der Sattellehne, genau in der Medianebene.	Ohne Hals. Genau wie bei Cadaver III, 0,7 cm hinter der Sattellehne, in der Fossa Tarini, Medianebene.
Schwerpunkt des Rumpfes allein, ohne Arme und ohne Kopf.	An der Vorderfläche des unteren Randes vom ersten Lumbalwirbel (nahe der Medianebene).	Mitte des ersten Lendenwirbelkörpers, 2 cm von der vorderen Fläche, 1,4 cm von der hinteren Fläche des Wirbelkörpers entfernt, 0,3 cm nach rechts von der Medianebene.	Am oberen Rande des ersten Lendenwirbels, an der vorderen Fläche des Wirbelkörpers; 0,5 cm nach rechts.
Ganze untere Extremität, rechts.	Der Schwerpunkt lag im Oberschenkel, 39 cm von oben, 5 cm von unten, direct am Knochen, Mitte.	Der Schwerpunkt lag im Oberschenkel, 37,7 cm von oben, 4,3 cm von unten, direct hinten am Knochen, Mitte.	Der Schwerpunkt lag im Oberschenkel 35,5 cm von oben, 4,5 cm von unten, 1 cm hinter dem Knochen.
Links.	38,5 cm von oben, 4,8 cm von unten, wie rechts.	38,5 cm von oben, 2,5 cm von unten, im Knochen selbst 0,7 cm vor dem hinteren Rande etwas nach aussen; Länge 50,7 cm.	Im Oberschenkel, 33 cm von oben, 7 cm von unten, sonst wie rechts.
Oberschenkel allein, rechts.	Länge 44 cm, Gewicht 7650 g, Schwerpunkt 19 cm von oben, 25 cm von unten, 1,5 cm hinter der Linea aspera, etwas medianwärts.	Länge 42 cm, Gewicht 6690 g, Schwerpunkt 19,7 cm von oben, 22,3 cm von unten, 2,2 cm hinter der Linea aspera.	Länge 40 cm (Mittel), Gewicht 6150 g, Schwerpunkt 17 cm von oben, 23 cm von unten, 1,5 cm hinter der Linea aspera.

	Cadaver II	Cadaver III	Cadaver IV
Oberschenkel allein, links.	Länge 43,3 cm, Gewicht 7300 g, Schwerpunkt 19,3cm oben, 24 cm von unten.	Länge 41 cm, Gewicht 6220 g, Schwerpunkt 19,5 cm von oben, 21,5 cm von unten, 1,5 cm hinter der Linea aspera.	Länge 40 cm (Mittel), Gewicht 6750 g, Schwerpunkt 15,5cm von oben, 24,5 cm von unten, wie rechts.
Unterschenkel mit Fuss, rechts.	Der Schwerpunkt lag im Unterschenkel 24,6 cm von oben, 16,8 cm von unten, direct hinter dem Ansatz des Ligamentum interosseum an der Tibia (Länge 49,2 cm, Unterschenkel + Fusshöhe).	Der Schwerpunkt lag im Unterschenkel 26,9 cm von oben, 16,1 cm von unten, genau am Ansatz des Ligamentum interosseum an der Tibia. (Länge 50,7 cm, Unterschenkel + Fusshöhe.)	Der Schwerpunkt lag im Unterschenkel 25 cm von oben, 16,5 cm von unten, genau am Ansatz des Ligamentum interosseum an der Tibia. (Länge 48 cm, Unterschenkel + Fusshöhe.)
Links.	25,5 cm von oben, 16,3 cm von unten, sonst wie rechts (Länge 49,3 cm).	26cm von oben, 19,9cm von unten, sonst genau wie rechts. (Länge 50,6 cm.)	25,5 cm von oben, 16 cm von unten, sonst wie rechts. (Länge 48 cm.)
Fuss allein, rechts.	Länge 28,5 cm, Höhe 7,8 cm, Gewicht 1100 g, Schwerpunkt 11,5 cm von hinten, 17cm von vorn, 6,5cm vor der Mitte des Tibio-Talusgelenkes, an der vor deren Fläche des Naviculare, zwischen zweitem und drittem Keilbein.	Länge 26,5 cm, Höhe 7,7 cm, Gewicht 1060 g, 11,4 cm von hinten, 15,1 cm von vorn, am Winkel des unteren und äusseren Randes des dritten Cuneiforme, nahe am Ansatz des Naviculare.	Länge 26,5 cm, Höhe 6,5 cm, Gewicht 990 g, Schwerpunkt 12 cm von hinten, 14,5 cm von vorn, unter dem dritten Cuneiforme, nahe seinem vorderen Rand, 3 cm über der Fusssohle.
Links.	Länge 28,3 cm, Höhe 7,5 cm, Gewicht 1160 g, Schwerpunkt 12 cm von hinten, 16,3 cm von vorn, sonst wie rechts.	Länge 26,9 cm, Höhe 7,7 cm, Gewicht 1090 g, 11,8 cm von hinten, 15,1 cm von vorn; an der vorderen Fläche des Naviculare zwischen drittem Cuneiforme und Cuboideum.	Länge 26,5 cm, Höhe 6,5 cm, Gewicht 1000 g, Schwerpunkt 12 cm von hinten, 14,5 cm von vorn, sonst wie rechts.
Unterschenkel allein, rechts.	Länge 41,4 cm, Gewicht 3210 g, Schwerpunkt 17,4cm von oben, 24 cm von unten, 1 cm hinter der Mitte des Ligamentum interosseum.	Länge 43 cm, Gewicht 2870 g, Schwerpunkt 18,7 cm von oben, 24,3 cm von unten, etwas hinter dem Ligamentum interosseum.	Länge 41,5 cm (Mittel), Gewicht 2970 g, Schwerpunkt 17 cm von oben, 24,5 cm von unten, hinter dem Ligamentum interosseum.

	Cadaver II	Cadaver III	Cadaver IV
Unterschenkel allein, links.	Länge 41,8 cm, Gewicht 3320 g, Schwerpunkt 17,4 cm von oben, 24,4 cm von unten, wie rechts.	Länge 42,9 cm, Gewicht 2880 g, Schwerpunkt 17,7 cm von oben, 25,2 cm von unten, 1 cm hinter dem Ligamentum interosseum.	Länge 41,5 cm (Mittel), Gewicht 2900 g, Schwerpunkt 17,5 cm von oben, 24 cm von unten, wie rechts.
Ganze obere Extremität, rechts.	Der Schwerpunkt lag im Oberarm etwas unter der Cubitalaxe, 1,5 cm vor dem Knochen.	Der Schwerpunkt lag im Oberarm, 28 cm von oben, 2,6 cm von unten, 1,8 cm vor dem Humerus.	Der Schwerpunkt lag im Oberarm, 0,5 cm unter der Cubitalaxe, 0,3 cm vor dem Knochen.
Links.	Ebenso.	29,1 cm von oben, 1,1 cm von unten, 1,4 cm vor der Mitte des Humerus.	0,5 cm über der Cubitalaxe, 0,5 cm vor dem Knochen.
Oberarm allein, rechts.	Länge (bis zur Spalte des Cubitalgelenkes) 31,7 cm, Gewicht 2580 g, Schwerpunkt 14,5 cm von oben (Humeruskopfcentrum), 17,2 cm über der Cubitalaxe, in der Markhöhle des Humerus, am hinteren Rande.	Länge 30,6 cm, Gewicht 1990 g, Schwerpunkt 13,4 cm von oben, 17,2 cm von unten, an der hinteren Fläche des Humerus.	Länge 32,0 cm, Gewicht 1730 g, Schwerpunkt 16,3 cm von oben, 15,7 cm von unten, im Humerus selbst, nahe am hinteren Rande.
Links.	Länge 31,5 cm (bis zur Spalte des Cubitalgelenkes), Gewicht 2560 g, Schwerpunkt 13,3 cm von oben, 18,2 cm von unten, in der Markhöhle.	Länge 30,2 cm, Gewicht 1880 g, Schwerpunkt 13,7 cm von oben, 16,5 cm von unten, an der hinteren Fläche des Humerus.	Länge 32 cm, Gewicht 2020 g, Schwerpunkt 15,3 cm von oben, 16,7 cm von unten, ebenso wie rechts.
Unterarm mit Hand, rechts.	Der Schwerpunkt lag im Unterarm, 19 cm von der Cubitalaxe entfernt, 10,5 cm vom Köpfchen des Capitatum, 0,5 cm vor dem Ansatz des Ligamentum interosseum am Radius. (Länge von der Cubitalaxe bis zum unteren Ende der flectirten Finger 41,5 cm.)	Der Schwerpunkt lag im Unterarm, 17,8 cm von oben, 8,5 cm von unten, 0,7 cm vor dem Ansatz des Ligamentum interosseum am Radius. (Länge von der Cubitalaxe bis zum unteren Ende der flectirten Finger 37,5 cm.)	Der Schwerpunkt lag im Unterarm, 17,7 cm von oben, 9,3 cm von unten, 0,5 cm vor dem Ligamentum interosseum, näher am Radius. (Länge von der Cubitalaxe bis zum unteren Ende der flectirten Finger 37,5 cm.)

	Cadaver II	Cadaver III	Cadaver IV
Unterarm mit Hand, links.	Der Schwerpunkt lag 19 cm von oben, 10,5 cm von unten, 1 vor dem Ansatz des Ligamentum interosseum am Radius. (Länge 41,5 cm.)	17,6 cm von oben, 9,5 cm von unten, 1 cm vor dem Ligamentum interosseum, näher dem Radius. (Länge 38,0 cm.)	17,9 cm von oben, 9,1 cm von unten, 0,5 cm vor dem Ligamentum interosseum, näher am Radius. (Länge 37,5 cm.)
Unterarm allein, rechts.	Länge 29,5 cm, Gewicht 1700 g, Schwerpunkt 12,5cm von oben, 17 cm von unten, 1 cm vor dem Ligamentum interosseum.	Länge 26,3 cm, Gewicht 1050 g, Schwerpunkt 10,9cm von oben, 15,4 cm von unten, 1 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum.	Länge 27 cm (Mittel), Gewicht 1300 g, Schwerpunkt 11,4cm von oben, 15,6 cm von unten, 1,5cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum.
Links.	Länge 29,5 cm, Gewicht 1600 g, Schwerpunkt 12,4cm von oben, 17,1 cm von unten, 1 cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum.	Länge 27,1 cm, Gewicht 1120 g, Schwerpunkt 11,0cm von oben, 16,1 cm von unten, 1,1cm vor der Mitte des Ligamentum interosseum.	Länge 27 cm (Mittel), Gewicht 1240 g, Schwerpunkt 11,9cm von oben, 15,1 cm von unten, wie rechts.
Hand allein, rechts; bei schwach gebeugten Fingern.	Gewicht 670 g, Schwerpunkt 5,5 cm von oben (Centrum des Köpfchens vom Capitatum), in der Hohlhand 1 cm vor dem Mittelpunkte des Köpfchens des dritten Metacarpus.	Gewicht 500 g, Schwerpunkt 5,9 cm von oben, 1 cm vor dem Capitulum des zweiten Metacarpus, nahe der Haut der Hohlhand.	Gewicht 490 g, Schwerpunkt 5,5 cm von oben, zwischen dem dritten Metacarpus und der Hohlhandfläche, 1 cm von der Hohlhandfläche entfernt.
Links.	Gewicht 620 g, wie rechts.	Gewicht 470 g, Schwerpunkt 5,7 cm von oben, 0,8 cm vor dem Mittelpunkte des dritten Metacarpusköpfchens in der Vola manus.	Gewicht 450 g, Schwerpunkt 5 cm von oben, sonst wie rechts.

Verhältnisszahlen für die Entfernung der Schwerpunkte von den Gelenkaxen resp. Gelenkmittelpunkten, die Entfernung der Gelenkaxen resp. Gelenkmittelpunkte eines Gliedes von einander gleich 1 gesetzt.

Körpertheile		Cadaver II		Cadaver III		Cadaver IV	
		von oben	von unten	von oben	von unten	von oben	von unten
Oberarm*)	r	—	—	0,438	0,562	0,509	0,491
	l	—	—	0,454	0,546	0,478	0,522
Unterarm	r	—	—	0,414	0,586	0,422	0,578
	l	—	—	0,406	0,594	0,441	0,559
Oberschenkel	r	0,432	0,568	0,469	0,531	0,425	0,575
	l	0,446	0,554	0,476	0,524	0,3875	0,6125
Unterschenkel	r	0,420	0,580	0,435	0,565	0,410	0,590
	l	0,416	0,584	0,413	0,587	0,422	0,578
Fuss (Die Länge von hinten nach vorn = 1 gesetzt.)	r	0,404	0,596	0,430	0,570	0,453	0,547
	l	0,424	0,576	0,439	0,561	0,453	0,547
Unterarm + Hand (Die Länge von Cubitalaxe bis zum unteren Ende der flectirten Finger = 1 gesetzt.)	r	—	—	0,475	0,525	0,472	0,528
	l	—	—	0,463	0,537	0,477	0,523
Unterschenkel + Fuss (Die Entfernung der Kniexe von der Fusssohle = 1 gesetzt.)	r	0,500	0,500	0,531	0,469	0,521	0,479
	l	0,517	0,483	0,514	0,486	0,531	0,469

*) Für die obere Extremität von Cadaver II sind die Verhältnisszahlen nicht eingetragen, da bei diesem Cadaver der Schnitt durch die Spalte des Cubitalgelenkes und nicht durch die Axe gegangen war; diese Zahlen würden daher keine Vergleichung mit den entsprechenden von Cadaver III und IV zulassen.

Arithmetische Mittel aus den Verhältnisszahlen der drei Cadaver für die Entfernungen der Schwerpunkte von den Gelenkaxen resp. Gelenkmittelpunkten jeden Gliedes.

Körpertheile		Arithmetische Mittel der Zahlen einer Seite:	Arithmetische Mittel der Zahlen beider Seiten:	Arithmetische Mittel der Zahlen einer Seite:	Arithmetische Mittel der Zahlen beider Seiten:
Oberarm	r	0,4735	0,470	0,5265	0,530
	l	0,466		0,534	
Unterarm	r	0,418	0,421	0,582	0,579
	l	0,4235		0,5765	
Oberschenkel	r	0,442	0,439	0,558	0,561
	l	0,4365		0,5635	
Unterschenkel	r	0,422	0,4195	0,578	0,5805
	l	0,417		0,583	
Fuss	r	0,429	0,434	0,571	0,566
	l	0,439		0,561	
Unterarm + Hand	r	0,4735	0,472	0,5265	0,528
	l	0,470		0,530	
Unterschenkel + Fuss	r	0,517	0,519	0,483	0,484
	l	0,521		0,479	

Für den Schwerpunkt des Rumpfes allein ergab sich bei unserer Normalhaltung des Körpers, wenn die Entfernung des Atlanto-Occipitalgelenkes von der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte gleich 1 gesetzt wird, als Abstandszahl von oben 0,609, von unten 0,391.

Durch Abrundung der Abstandszahlen für die Extremitätenstücke auf 2 Decimalstellen erhält man folgende Tabelle:

Körpertheile	von oben	von unten
Oberarm	0,47	0,53
Unterarm	0,42	0,58
Oberschenkel	0,44	0,56
Unterschenkel	0,42	0,58
Fuss	0,43	0,57

Diese Zahlen entfernen sich nicht sehr von den beiden Brüchen $^4/_9$ und $^5/_9$, so dass man mit gewisser Annäherung sagen kann, dass der Schwerpunkt von den einzelnen Extremitätenabschnitten über die Mitte derselben zu liegen kommt und die Entfernung der beiden Gelenkaxen resp. Gelenkmittelpunkte von einander im Verhältniss von 4 : 5 theilt.

Will man also möglichst schnell die ungefähre Lage des Schwerpunktes an irgend einem Extremitätenabschnitt bestimmen, so hat man die Entfernungen der Gelenkaxen zu messen, die Länge durch 9 zu theilen und bei $^4/_9$ der Länge unter der proximalen Gelenkaxe die Schwerpunktslage anzusetzen, und zwar, wie oben auseinander gesetzt wurde, in einer geraden Linie, welche bestimmt wird durch die Mitten der Nachbargelenke. Am Oberschenkel und Oberarm liegt der Schwerpunkt nahezu am hinteren Rande des Knochens, am Unterschenkel und Unterarm durchschnittlich 1 cm von der Mitte des Ligamentum interosseum nach der Beugeseite zu entfernt.

Die directen Messungen der Abstände der Schwerpunkte der einzelnen Gliederabschnitte von den Gelenkenden nach Harless stimmen mit unsern Resultaten gut überein, wenn man das Mittel aus den Einzelbeobachtungen zieht. Eine vollständige Übereinstimmung kann natürlich nicht erwartet werden, weil erstens individuelle Verschiedenheiten vorliegen und zweitens das weiche Material Fehlerquellen für Harless bringen musste. Auch bei uns haben sich individuelle Unterschiede bei den drei Cadavern gezeigt, die jedoch durchschnittlich geringer als die Harless'schen Differenzen seiner beiden Messungsreihen sind, so dass die letzteren also, wie man sich schon von vornherein sagen konnte, doch wohl nicht blos durch individuelle Verschiedenheit bedingt sein können.

Die Harless'schen Resultate, wie sie sich auf pag. 93 und pag. 271 a. a. O. vorfinden, haben wir, um eine directe Vergleichung mit den unsrigen zu ermöglichen, auf die Gliederlänge 1 bezogen und aus den beiden Seiten des Körpers, so weit dies nicht schon geschehen war, die Mittel gezogen.

Verhältnisszahlen für die Abstände des Schwerpunktes der Harless'schen Cadaver Graf und Kefer.

Vom	Graf		Kefer		Arithmetisches Mittel aus beiden	
	von oben	von unten	von oben	von unten	von oben	von unten
Oberarm	0,485	0,515	0,429	0,571	0,457	0,543
Unterarm	0,439	0,561	0,410	0,590	0,4245	0,5755
Oberschenkel	0,468	0,532	0,424	0,576	0,446	0,554
Unterschenkel	0,360	0,640	0,469	0,531	0,4145	0,5855
Fuss	0,460	0,540	0,436	0,564	0,448	0,552

Man vergleiche hiermit unsere Resultate auf pag. 622.

Auch die Harless'schen Verhältnisszahlen sind im Durchschnitte sehr nahe an den Brüchen $^4/_9$ und $^5/_9$.

Vergleichen wir nun die von Meyer durch directe Messung gefundenen Resultate mit den unsrigen, so stellt sich als Hauptdifferenz die Lage des Gesammtschwerpunkts des Körpers heraus. Nach den Meyer'schen Bestimmungen liegt derselbe bei der aufrechten Stellung ziemlich weit hinter den Hüftgelenken, im zweiten Kreuzbeinwirbel oder über demselben im Sacralkanal, was wir bei unseren Messungen nie gefunden haben. Es muss aber ausdrücklich hervorgehoben werden, dass wir am Cadaver in der Rückenlage den Schwerpunkt bestimmten und daraus erst eine aufrechte Stellung construirten, die sich durch Controle am Lebenden als möglich erwies, während Meyer im Verein mit Horner direct am Lebenden beobachtete. Dass es möglich ist, dem Körper eine solche Haltung zu geben, dass der Schwerpunkt hinter die Hüftgelenke in den Spinalkanal und noch weiter nach rückwärts fällt, ist zweifellos; man braucht nur den Körper mit stark zurückgenommenen Schultern nach rückwärts zu biegen, so dass er einen nach vorn convexen Bogen bildet, so wird der Schwerpunkt hinter die Hüftgelenke zu liegen kommen, und um so weiter, je stärker die Krümmung wird. Jedenfalls ist diese Meyer'sche Stellung aber nicht als eine Ausgangsstellung für Messungen zu benutzen, da sie sich nicht sicher normiren lässt. Sie ist aber auch keineswegs

eine »militärische«, wie Meyer angiebt, und ob sie eine besonders feste ist, muss erst noch erwiesen werden. Auf diese Stellung soll später noch zurückgekommen werden.

Wenn Meyer (Müller's Archiv 1853, pag. 25) ferner sagt, dass die Flexionsebenen im Tibio-Talusgelenk einen nach vorn offenen Winkel bilden, welcher noch durch die Auswärtshaltung der Füsse vergrössert wird, und dass dadurch eine Arretirung im Fussgelenk zu Stande komme, welche bei gleichzeitiger Arretirung im Knie und in der Hüfte die Beugebewegung des Beins gegen den Fuss nach vorn verhindere, so ist das nur für das erste Fussgelenk gültig, aber nicht für den ganzen Fuss als solchen. Wenn man den Schenkel festschraubt, dann kann man allerdings die Wirbelsäule ziemlich weit nach hinten biegen, wie dies Meyer in seiner bekannten Figur abbildet; denn dann wird der Rumpf durch das Ligamentum Bertini getragen. Das Bein ist aber in der aufrechten Stellung selbst bei stark gespreizten Füssen nicht im Fussgelenk arretirt; denn es bleibt in dem zweiten Tarsalgelenk noch eine Beweglichkeit vorhanden, welche einen ziemlich grossen Grad der Beugung ermöglicht, selbst wenn man bei stark nach aussen gestellten Füssen die Beine im Kniegelenk und im Hüftgelenk arretirt hat. Man kann sich davon leicht am eigenen Körper überzeugen. Wenn dies nicht der Fall wäre, würde es auch ganz unmöglich sein, auf einer steil gestellten schiefen Ebene zu gehen.

Bestimmung der Schwerpunktslage am lebenden Körper bei verschiedenen Haltungen desselben und bei verschiedenen Belastungen.

Mit Hülfe unserer Messungen und Wägungen hat man die Möglichkeit, auch am lebenden Körper die jedesmalige Schwerpunktslage zu bestimmen. Es ist dazu erforderlich, den Körper auf ein räumliches Coordinatensystem zu beziehen. Dazu genügen zwei Projectionen desselben auf je eine Ebene, am bequemsten auf eine Sagitalebene und eine Frontalebene. Diese Projectionen sind am sichersten zu gewinnen durch Photographiren der Profil- und Frontalansicht. Als *XY*-Ebene des rechtwinkligen Coordinatensystems soll nun immer die horizontale Bodenfläche und als *Z*-Axe die Verticallinie angenommen werden, welche durch den Mittelpunkt der Verbindungslinie der beiden Hüftgelenkmittelpunkte geht. Lässt man die *X*-Axe in sagitaler Richtung verlaufen, so muss die *Y*-Axe eine frontale Richtung haben. Damit ist aber das rechtwinklige Coordinatensystem festgelegt, wenn man noch bestimmt, dass die positive Richtung der *X*-Axe nach vorn, der *Y*-Axe nach rechts und der *Z*-Axe nach oben verläuft.

Zur genauen Orientirung des Körpers beim Photographiren wurden zwei Senkelfäden benutzt, um dadurch auf allen Bildern immer die Richtung der *Z*-Axe anzugeben. Es wurden aber zwei Senkelfäden genommen, um dadurch für die Normalstellung gleich die *YZ*-Ebene festzulegen. Auf den gewonnenen Bildern wurden dann die Gelenkmittelpunkte markirt, wie sie sich durch Messung am lebenden Körper in derselben Stellung auf die Körperoberfläche projiciren liessen. Auf der Haut des Körpers vor dem Photographiren sie aufzutragen, führt wegen der Verschiebbarkeit der Haut zu Ungenauigkeiten, wenn man die Stellung verändert. Daher konnte dieses Verfahren nur bei

der Normalstellung angewendet werden, während bei allen übrigen Stellungen, in die der Körper nachher gebracht wurde, von Neuem die Projectionen der Gelenkmittelpunkte auf die Körperoberfläche bestimmt werden mussten. Die Mitten der Gelenke wurden auch z. B. beim Ellbogen- und Kniegelenk genommen, weil sich herausgestellt hatte, dass der Schwerpunkt eines Gliedes mit grosser Annäherung immer in der Verbindungslinie der Mittelpunkte der benachbarten Gelenke liegt. Da wir das Verhältniss der Abstände des Schwerpunktes eines Gliedes von den Mittelpunkten der benachbarten Gelenke bestimmt hatten (vgl. pag. 621), so konnten wir aus den Coordinaten der Gelenkmittelpunkte die Coordinaten des zwischen ihnen liegenden Schwerpunktes berechnen.

Sind x_i, y_i, z_i und x_k, y_k, z_k bezüglich die Coordinaten der Gelenkmittelpunkte eines Gliedes und ε_i resp. ε_k die auf pag. 621 niedergelegten Verhältnisszahlen der Abstände eines Schwerpunktes von den anstossenden Gelenkmittelpunkten, so hat man zur Berechnung der Coordinaten $x_{i,k}$, $y_{i,k}$, $z_{i,k}$ des Schwerpunktes die Proportionen

$$\begin{aligned}(x_i - x_{i,k}) : (x_{i,k} - x_k) &= \varepsilon_i : \varepsilon_k \ ,\\ (y_i - y_{i,k}) : (y_{i,k} - y_k) &= \varepsilon_i : \varepsilon_k \ ,\\ (z_i - z_{i,k}) : (z_{i,k} - z_k) &= \varepsilon_i : \varepsilon_k \ ,\end{aligned}$$

woraus folgt:

$$\begin{aligned}(\varepsilon_i + \varepsilon_k)\, x_{i,k} &= \varepsilon_k x_i + \varepsilon_i x_k \ ,\\ (\varepsilon_i + \varepsilon_k)\, y_{i,k} &= \varepsilon_k y_i + \varepsilon_i y_k \ ,\\ (\varepsilon_i + \varepsilon_k)\, z_{i,k} &= \varepsilon_k z_i + \varepsilon_i z_k \ .\end{aligned}$$

Da nun die Verhältnisszahlen ε_i und ε_k sich auf die Gesammtlänge 1 des Gliedes beziehen, so ist

$$\varepsilon_i + \varepsilon_k = 1$$

und folglich:

$$\begin{aligned}x_{i,k} &= \varepsilon_k x_i + \varepsilon_i x_k \ ,\\ y_{i,k} &= \varepsilon_k y_i + \varepsilon_i y_k \ ,\\ z_{i,k} &= \varepsilon_k z_i + \varepsilon_i z_k \ .\end{aligned}$$

Als Verhältnisszahlen ε_i, ε_k sollen die arithmetischen Mittel ihrer Werthe aus den drei Schwerpunktsbestimmungen verwendet werden, und zwar auf zwei Decimalstellen abgerundet, wie sie sich auf pag. 622 vorfinden. Man hat also für sie die Tabelle:

Körpertheile	ε_i	ε_k
Rumpf	0,61	0,39
Oberschenkel. . . .	0,44	0,56
Unterschenkel . . .	0,42	0,58
Fuss	0,43	0,57
Oberarm.	0,47	0,53
Unterarm	0,42	0,58

wobei ε_i immer dem proximalen Gelenke angehört. Die Verhältnisszahlen für den Rumpf sind in der früheren Tabelle nicht angeführt, weil der Rumpf keine so unveränderliche Masse bildet, wie die einzelnen Gliederabschnitte. Die Veränderlichkeit seiner Form ist jedoch bei den von uns untersuchten Stellungen des Körpers nicht sehr bedeutend, so dass sich für diese Fälle die Verhältnisszahlen, welche aus unserer Normalstellung gewonnen werden, ohne bemerkliche Fehler, wie sich aus der späteren Rechnung ergiebt, verwenden lassen. Wir hatten bei einer Entfernung des Atlanto-Occipitalgelenkes von der Mitte der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte im Betrage von 66 cm als Abstand des Schwerpunktes vom Atlanto-Occipitalgelenk 40,2 cm und von der Mitte der Hüftgelenkaxe 25,8 cm gefunden. Daraus berechnen sich aber die oben angeführten Werthe von ε_i und ε_k. Wir haben ferner auch der Einfachheit der Rechnung halber immer angenommen, dass der Schwerpunkt des Rumpfes bei unseren Haltungen des Körpers genau in die Medianebene fällt.

Für die Hand sind die Verhältnisszahlen ε_i und ε_k nicht angegeben, weil die Haltung der Hand und der Finger zu sehr variirt. Man kann aber die Coordinaten des Schwerpunktes der Hand immer ziemlich sicher aus den Abbildungen erkennen und direct messen.

Um die Gewichte der einzelnen Körpertheile beim Lebenden zu gewinnen, empfiehlt es sich nicht, die Mittelzahlen aus unseren und den zwei Harless'schen Bestimmungen zu nehmen, da die Harless'schen Wägungen am blutleeren Körper ausgeführt wurden. Auch würden die Mittelzahlen aus unseren drei Wägungen keine grössere Genauigkeit bringen, da die Zahl der Individuen viel zu klein ist. Es ist zweckmässiger, die Gewichte des Cadavers zu nehmen, dessen Längenverhältnisse und dessen Gesammtgewicht dem Lebenden, an dem man beobachtet, möglichst gleichkommt. Unserem lebenden

Manne entsprach in Bezug auf die Längenverhältnisse und das Gewicht ziemlich genau unser Cadaver IV. Nur differirte das Gewicht um 3 Kilogramm, so dass es nothwendig wurde, die Gewichte von Cadaver IV, dessen Gesammtgewicht 55 700 betrug, auf das Gesammtgewicht 58 700 unseres Lebenden zu reduciren.

Es müssen zu diesem Zwecke die Gewichte von Cadaver IV mit der Verhältnisszahl $\frac{58700}{55700} = 1{,}05386$ multiplicirt werden.

Es erhalten dann die Gewichte für unseren Lebenden, die bei allen Berechnungen zu Grunde gelegt werden sollen, folgende Werthe (auf 10 g abgerundet):

Gesammtgewicht:	58700 g
Gewicht vom Kopf:	4140 g
Gewicht vom Rumpf:	25060 g
Gewicht eines Oberschenkels:	6800 g
Gewicht eines Unterschenkels:	3090 g
Gewicht eines Fusses:	1050 g
Gewicht eines Oberarms:	1980 g
Gewicht eines Unterarms:	1340 g
Gewicht einer Hand:	490 g.

Es wurden folgende Stellungen photographisch abgebildet, und zwar sämmtlich an einem und demselben Manne in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Grösse, so dass die Millimeter auf den Bildern Centimetern der natürlichen Verhältnisse entsprechen:

Der Mann befindet sich:

1) auf Tafel IV in der Normalstellung, welche bereits auf pag. 598 erläutert worden ist;
2) auf Tafel V in bequemer Haltung, wie sie von selbst ohne willkürliche Beeinflussung eingenommen wird;
3) auf Tafel VI in militärischer Haltung.

Dann wurden eine Anzahl Stellungen bei militärischer Belastung abgebildet, und zwar zeigen die Bilder die Haltung des nackten Soldaten ohne Gepäck:

4) auf Tafel VII und VIII beim Präsentiren des Gewehrs;
5) auf Tafel IX und X beim Feuern;
6) auf Tafel XI und XII beim Vorhalten des Gewehrs mit einem ausgestreckten Arm;

und ferner die Haltung des nackten Soldaten in vollständiger kriegsgemässer Ausrüstung mit scharfen Patronen:

7) auf Tafel XIII und XIV beim Stillstehen mit »Gewehr über«;

8) auf Tafel XV und XVI beim Feuern.

Bei den drei ersten Stellungen reichten wegen der symmetrischen Haltung des Körpers die Profilaufnahmen aus; bei den übrigen musste ausser der Profilansicht noch die Frontalansicht genommen werden. Bei den ersten beiden Stellungen musste aber der linke Vorderarm im Ellbogengelenk etwas gebeugt werden, um bei der Stellungnahme die Marke am Hüftgelenk sichtbar zu machen; bei der militärischen Stellung genügte eine geringe Vorwärtsschiebung des Armes dazu. Bei der Berechnung lässt sich aber sehr leicht eine Correctur anbringen, welche die Stellung wieder symmetrisch macht.

Die Coordinaten der Gelenkmittelpunkte wurden aus den Photographien auf folgende Weise bestimmt:

Es wurden zunächst die Gelenkmittelpunkte an demselben lebenden Manne in derselben Stellung bestimmt, auf die Körperoberfläche projicirt und auf die Bilder aufgetragen, wie aus den Tafeln ersichtlich ist. Darüber wurde ein auf durchsichtiges Papier aufgezeichnetes Millimeternetz aufgelegt und so orientirt, dass die Z-Axe in der Richtung des Senkelfadens durch den Mittelpunkt der Verbindungslinie der beiden Hüftgelenkcentren ging und der Coordinatenanfangspunkt in die horizontale Bodenfläche zu liegen kam. Dadurch liessen sich bei den Stellungen 4 bis 8 aus beiden Ansichten unter Berücksichtigung der durch die Perspective bedingten Verkürzungen und Verlängerungen alle drei Coordinaten gewinnen. Bei den Stellungen 1 bis 3 bekommt man aus der einen Photographie zwar zunächst nur die X- und Z-Coordinate; da wir aber die Entfernung der symmetrisch gelegenen Gelenke am Lebenden abgemessen hatten, so war unter Annahme einer vollkommenen Bilateralsymmetrie damit auch die Y-Coordinate gegeben.

Stellungen des unbelasteten Körpers.

Es ergaben sich auf diese Weise für:

I. Die Normalstellung, Tafel IV,

als

Coordinaten der Gelenkmittelpunkte

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk . . .		0	0	152
Hüftgelenk	r	0	+ 8,5	87
	l	0	− 8,5	87
Kniegelenk	r	0	+ 8,5	47
	l	0	− 8,5	47
Tibio-Talusgelenk	r	0	+ 8,5	6
	l	0	− 8,5	6
Hinterer Fussrand	r	− 4	+ 6	4
	l	− 4	− 6	4
Fussspitze	r	+ 20	+ 16	1,5
	l	+ 20	− 16	1,5
Humeroscapulargelenk . .	r	0	+ 18	134
	l	0	− 18	134
Cubitalgelenk	r	0	+ 18	103
	l	0	− 18	103
Handgelenk	r	0	+ 18	76
	l	+ 19	− 11	108

Daraus berechneten sich mit Hilfe der Formeln:

$$x_{i,k} = \varepsilon_k x_i + \varepsilon_i x_k \ ,$$
$$y_{i,k} = \varepsilon_k y_i + \varepsilon_i y_k \ ,$$
$$z_{i,k} = \varepsilon_k z_i + \varepsilon_i z_k \ ,$$

unter Benutzung der auf pag. 628 angegebenen Werthe von ε_i und ε_k folgende Coordinaten der Schwerpunkte, mit Ausnahme der Schwerpunktscoordinaten für Kopf und Hände, welche direct aus den Figuren gewonnen wurden:

Coordinaten der Schwerpunkte für die Normalstellung, Tafel IV,

von		x	y	z
Kopf		0	0	156
Rumpf		0	0	112,4
Oberschenkel	r	0	+ 8,5	69,4
	l	0	− 8,5	69,4
Unterschenkel	r	0	+ 8,5	29,8
	l	0	− 8,5	29,8
Fuss	r	+ 6,3	+ 10,3	3
	l	+ 6,3	− 10,3	3
Oberarm	r	0	+ 18	119,4
	l	0	− 18	119,4
Unterarm	r	0	+ 18	91,7
	l	+ 8	− 15,4	105,1
Hand	r	0	+ 18	71
	l	+ 23	− 8	108,5

Unter Benutzung dieser Coordinaten und der auf pag. 628 niedergelegten Gewichte stellt sich dann die

Berechnung des Schwerpunktes für die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes

folgendermassen:

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		0	0	645840
Rumpf		0	0	2816744
Oberschenkel	r	0	+ 57800	471920
	l	0	− 57800	471920
Unterschenkel	r	0	+ 26265	92082
	l	0	− 26265	92082
Fuss	r	+ 6615	+ 10815	3150
	l	+ 6615	− 10815	3150
Oberarm	r	0	+ 35640	236412
	l	0	− 35640	236412
Unterarm	r	0	+ 24120	122878
	l	+ 10720	− 20234	140834
Hand	r	0	+ 8820	34790
	l	+ 11270	− 3920	53165
		Sa.: + 35220	Sa.: + 8786	Sa.: 5421379

folglich:

$$x_0 = + \frac{35220}{58700} , \quad y_0 = + \frac{8786}{58700} , \quad z_0 = \frac{5421379}{58700} ,$$

oder:

$$x_0 = + 0{,}6 , \quad y_0 = + 0{,}1 , \quad z_0 = 92{,}4.$$

Nimmt man den gebeugten linken Unterarm aus der Beugestellung heraus und stellt ihn symmetrisch zum rechten Arm, so erhalten die drei Coordinaten des Schwerpunktes am linken Unterarm folgende Werthe: 0 , — 18 , 91,7; und von der linken Hand die Werthe: 0 , — 18 , 71.

Dadurch werden die drei Coordinaten des Gesammtschwerpunktes für die Normalstellung:

$$x_0 = + \frac{13230}{58700} = + 0{,}2 ,$$

$$y_0 = 0 ,$$

$$z_0 = \frac{5385048}{58700} = 91{,}7.$$

Es erhellt also hieraus, wie schon auf pag. 599 bemerkt worden ist, dass durch das Erheben des linken Unterarmes der Gesammtschwerpunkt nur 0,7 cm höher, 0,4 cm weiter nach vorn und 0,1 cm weiter nach rechts gerückt worden ist.

Der Gesammtschwerpunkt liegt also bei genau symmetrischer Haltung in Normalstellung 4,7 cm über der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte, während wir ihn bei unserer directen Messung 4,5 cm über dieser Linie gefunden hatten.

Wie schon früher, pag. 562, auseinandergesetzt worden ist, ist die Unterstützungsfläche eines aufrechtstehenden menschlichen Körpers gegeben durch den Flächenraum, welcher durch die äusseren Conturen der Füsse und die äusseren Doppeltangenten begrenzt wird, die durch die Fussspitzen und hinteren Fussränder bedingt sind. Und zwar wird die Sicherheit der Haltung im Allgemeinen dann den höchsten Grad erreichen, wenn die Schwerlinie durch die Mitte der Unterstützungsfläche geht. Auf umstehender Figur 4, welche die Projection der Füsse auf die XY-Ebene bietet, ist der Schnittpunkt der Schwerlinie mit der Unterstützungsfläche zur Anschauung gebracht. Da dieser Schnittpunkt der Schwerlinie mit der Unterstützungsfläche viel näher dem hinteren als dem vorderen Rande liegt, so ist

bei dieser Haltung die Sicherheit der Stellung grösser gegenüber einem Stosse von hinten nach vorn, als gegenüber einem Stosse von vorn nach hinten. Der Körper ist dabei leichter geneigt nach hinten umzufallen, als nach vorn. Es ist daraus ersichtlich, dass unsere Normalstellung nicht die sicherste ist.

Dagegen hat sie grosse Vortheile für die Messung und Berechnung; denn indem sie die Schwerpunkte der einzelnen Körpertheile in einer senkrechten Ebene über einander aufbaut und, wie die Figur auf Tafel IV zeigt, am Lebenden leicht festzustellen ist, bietet sie eine sichere Ausgangsstellung.

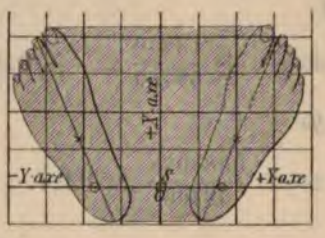


Fig. 4. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡*S* der Schwerlinie mit derselben für die Normalstellung auf Taf. IV. Der Anfangspunkt *O* der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

In einer sehr bemerkenswerthen Arbeit über die Horizontalebene des menschlichen Schädels (Archiv für Anthropologie Bd. IX, 1876, pag. 25 ff.) giebt Schmidt auf Grund sorgfältig ausgeführter Messungen an Lebenden für den erwachsenen deutschen Schädel an, dass die Ebene, welche durch die äusseren Ohröffnungen und durch den unteren Orbitalrand gelegt wird, nicht die physiologische Horizontale ist. Sie steigt über der letzteren nach vorn auf, und zwar unter einem Winkel, der im Durchschnitt nach einer grösseren Reihe von Beobachtungen $5^1/_2{}^\circ$ bis $5^3/_4{}^\circ$ beträgt. Als physiologische Horizontale bezeichnet Schmidt (a. a. O. pag. 35) »die Ebene des Horizontes bei gerader Kopfhaltung; der Kopf ist gerade gerichtet, wenn er bei aufrechter Haltung und horizontal gerichtetem Blick mit möglichst geringer Muskelanstrengung auf der Wirbelsäule aufruht«. Schmidt fand ferner, dass diese gerade Kopfhaltung besonders von Soldaten oder gewesenen Soldaten eingenommen wird.

Er fasst das Resultat seiner Arbeit am Schlusse dahin zusammen, »dass die Ebene, welche den Jochbogenanfang über der Ohröffnung mit dem unteren Augenhöhlenrand verbindet, die Ebene der Göttinger Anthropologen-Versammlung, die beste aufzufindende Horizontale ist. Sie nähert sich am meisten der wahren physiologischen Horizontalen und hat unter allen vorgeschlagenen Normalebenen die grösste Stabilität«.

Ohne Kenntniss der Lage vom Schwerpunkt des Kopfes lässt sich aber mit Sicherheit eine gerade Haltung des Kopfes und eine darauf begründete Horizontalebene des Schädels nicht genau bestimmen. Nimmt man an, dass der Kopf während des Lebens im labilen Gleichgewicht steht, wenn auch nicht dauernd, womit übereinstimmt, dass der Mensch kein Ligamentum nuchae besitzt, und das die Nackenmuskeln nicht als Kopfträger angesehen werden können, weil nirgends im Körper die Muskeln dauernde Tragapparate bilden, so würde unsere Constructionsfigur auf Tafel III den Kopf in der geraden Normalstellung zeigen. Zieht man auf dieser Figur eine Linie, welche den Mittelpunkt der Ohröffnung mit dem unteren Orbitalrande verbindet, so weicht diese Linie um ca. 8° von der Horizontalen ab, der vorliegende Winkel nähert sich also sehr den von Schmidt gefundenen Werthen. Eine Reihe von Messungen an macerirten Schädeln zeigte aber, dass ziemlich grosse individuelle Schwankungen in dieser Beziehung vorkommen, und dass man besser hier nicht mit Graden oder Bruchtheilen rechnet, sondern dass man grössere Breiten für die Messung zu Grunde legt.

Wir müssen es den Anthropologen überlassen, dieses Verhältniss weiter zu verfolgen und uns mit dieser Andeutung begnügen, da hier nur zahlreiche und genaue Messungen brauchbare Resultate liefern können.

Die Normalstellung ist ferner von grossem Vortheil, wenn es sich darum handelt, die Schwerpunktslage des Körpers ohne Abbildungen direct am Lebenden zu bestimmen.

Es ist dazu nur nöthig zu wissen, in welcher Richtung und um wieviel Grad die einzelnen Glieder um einen ihrer beiden Gelenkmittelpunkte aus der Normalstellung, d. h. aus der senkrechten Stellung des Gliedes, gebeugt sind. Wie aus dem Obigen ersichtlich ist, muss man zunächst die Coordinaten der Gelenkmittelpunkte berechnen und aus diesen dann auf die früher angegebene Art die Coordinaten

der Schwerpunkte. Es genügt daher nur anzugeben, auf welche Weise sich die Coordinaten der Gelenkmittelpunkte eines Gliedes nach einer Beugung aus den Coordinaten derselben vor der Beugung (in der Normalstellung) berechnen lassen.

Es seien in beifolgender Figur 5 M_k und M_i die Mittelpunkte der beiden Gelenke eines Gliedes, wobei M_i dem proximalen Gelenke angehört. Befindet sich dieses Glied $M_i M_k$ in der Normalstellung,

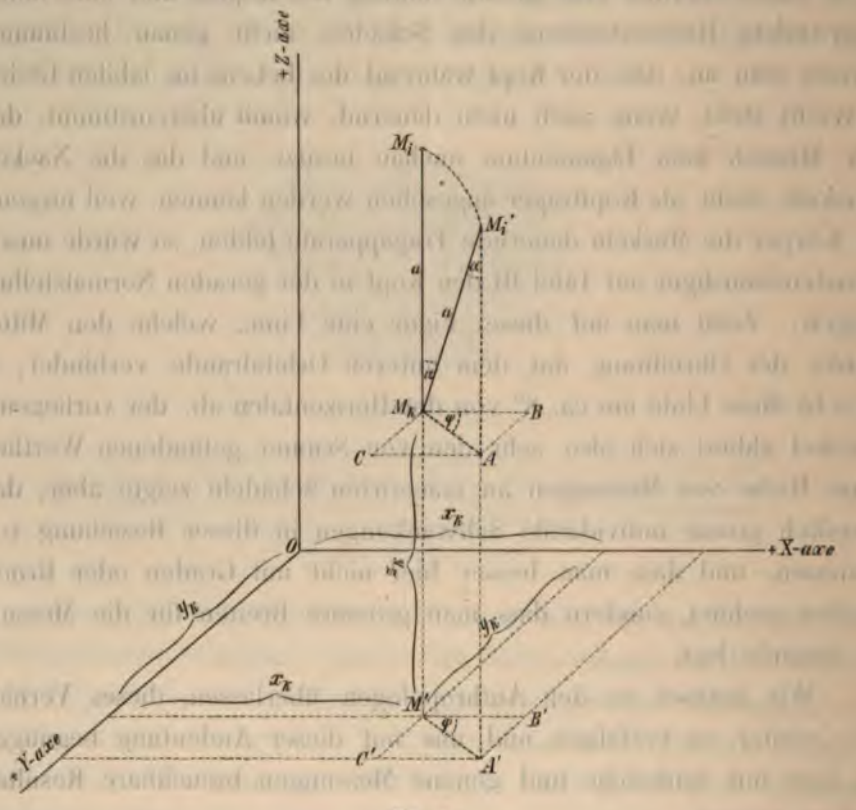


Fig. 5.

so soll es der Z-Axe parallel laufen. Dreht man nun das Glied um den Gelenkmittelpunkt M_k in einer Ebene, welche mit der XZ-Ebene den Winkel φ bildet, um den Winkel α aus der Normalstellung heraus, so soll der Gelenkmittelpunkt M_i die Lage M_i' annehmen. Unter α ist dabei immer der Winkel zu verstehen, den die neue Lage der Verbindungslinie $M_k M_i'$ mit der positiven Richtung der Z-Axe bildet. Die Coordinaten des Punktes M_i' lassen sich dann auf folgende Weise aus den Coordinaten des festgebliebenen Punktes M_k berechnen.

Bezeichnet man die Länge des Gliedes, d. h. die Entfernung der beiden anstossenden Gelenkmittelpunkte von einander, mit a, so hat man in $M_k A M_i'$ ein rechtwinkliges Dreieck mit dem rechten Winkel bei A, dem spitzen Winkel α und der Länge der Hypotenuse a. Daraus folgt $M_k A = a \sin \alpha$. Diese Strecke $M_k A$ ist aber wiederum die Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, nämlich des Dreiecks $A B M_k$ mit dem rechten Winkel bei B und dem spitzen Winkel φ. In diesem rechtwinkligen Dreieck sind die beiden Katheten $M_k B$ und $A B$ gerade die Strecken, um welche die Coordinate x_i' grösser ist als x_k, und die Coordinate y_i' grösser ist als y_k. Die Coordinate z_i' ist um die Strecke $A M_i'$ grösser als z_k. Berücksichtigt man noch, dass $A M_i'$ Kathete in dem ersten rechtwinkligen Dreiecke ist, so erkennnt man leicht, dass

$$x_i' = x_k + a \sin \alpha \cos \varphi$$
$$y_i' = y_k + a \sin \alpha \sin \varphi$$
$$z_i' = z_k + a \cos \alpha.$$

II. Die bequeme natürliche Haltung, Tafel V.

Als

Coordinaten der Gelenkmittelpunkte

ergaben sich

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk . . .		— 1,5	0	150,5
Fussgelenk	r	0	+ 8,5	87
	l	0	— 8,5	87
Kniegelenk	r	— 1	+ 7	47
	l	— 1	— 7	47
Tibio-Talusgelenk	r	— 5	+ 4,5	6
	l	— 5	— 4,5	6
Hinterer Fussrand	r	— 9	+ 2	4
	l	— 9	— 2	4
Fussspitze	r	+ 15	+ 12	1,5
	l	+ 15	— 12	1,5
Humeroscapulargelenk . .	r	— 1	+ 18	133
	l	— 1	— 18	133
Cubitalgelenk	r	— 3	+ 18	102
	l	— 3	— 18	102
Handgelenk	r	+ 1	+ 18	75,5
	l	+ 17	— 13	102,5

Daraus berechnen sich folgende

Coordinaten der Schwerpunkte für die bequeme Haltung, Tafel V,

von		x	y	z
Kopf		— 1	0	154,5
Rumpf		— 0,6	0	111,8
Oberschenkel	r	— 0,4	+ 7,8	69,4
	l	— 0,4	— 7,8	69,4
Unterschenkel	r	— 2,7	+ 6	29,8
	l	— 2,7	— 6	29,8
Fuss	r	+ 1,3	+ 6,3	3
	l	+ 1,3	— 6,3	3
Oberarm	r	— 1,9	+ 18	118,4
	l	— 1,9	— 18	118,4
Unterarm	r	— 1,3	+ 18	90,9
	l	+ 5,4	— 15,9	102,2
Hand	r	0	+ 18	70,5
	l	+ 20,5	— 10	102

Mit Hilfe dieser Coordinaten stellt sich die

Berechnung der Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes

folgendermassen:

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		— 4140	0	639630
Rumpf		— 15036	0	2801708
Oberschenkel	r	— 2720	+ 53040	471920
	l	— 2720	— 53040	471920
Unterschenkel	r	— 8343	+ 18540	92082
	l	— 8343	— 18540	92082
Fuss	r	+ 1365	+ 6615	3150
	l	+ 1365	— 6615	3150
Oberarm	r	— 3762	+ 35640	234432
	l	— 3762	— 35640	234432
Unterarm	r	— 1742	+ 24120	121806
	l	+ 7236	— 21306	136948
Hand	r	0	+ 8820	34545
	l	+ 10045	— 4900	49980
		Sa.: — 30557	Sa.: + 6734	Sa.: 5387785

folglich:

$$x_0 = -\frac{30557}{58700}\,, \quad y_0 = +\frac{6734}{58700}\,, \quad z_0 = \frac{5387785}{58700}\,,$$

oder: $x_0 = -0{,}5\,, \quad y_0 = +0{,}1\,, \quad z_0 = 91{,}8.$

Streckt man wieder den gebeugten linken Unterarm, bis er eine zum rechten Arm symmetrische Haltung einnimmt, so werden die drei Coordinaten des Schwerpunktes

vom linken Unterarm: $-1{,}3\,, \quad -18\,, \quad 90{,}9\,,$

und von der linken Hand: $0\,, \quad -18\,, \quad 70{,}5.$

In Folge dessen werden dann die Coordinaten des Gesammtschwerpunktes für die bequeme Haltung des Körpers:

$$x_0 = -\frac{49580}{58700} = -0{,}8\,,$$

$$y_0 = 0\,,$$

$$z_0 = \frac{5357208}{58700} = 91{,}3.$$

Durch das Erheben des linken Unterarmes war also in diesem Falle der Schwerpunkt 0,3 cm weiter nach vorn, 0,1 cm weiter nach rechts und 0,5 cm höher gerückt.

Der Gesammtschwerpunkt liegt also bei der bequemen Stellung bei genau symmetrischer Haltung beider Seiten 7,3 cm höher als die Mittelpunkte der Hüftgelenke und 0,8 cm nach hinten, also immer noch über den Hüftgelenkpfannen.

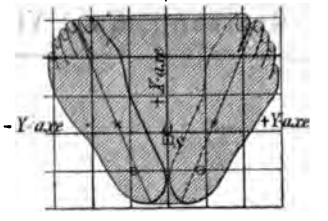


Fig. 6. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡S der Schwerlinie mit derselben für die bequeme Haltung, Taf. V. Der Anfangspunkt O der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

Auf vorstehender Figur 6 ist die Projection der Füsse auf die XY-Ebene und der Schnittpunkt der Schwerlinie mit der Unterstützungsfläche aufgezeichnet. In diesem Falle ist die Schwerlinie 4 cm weiter nach vorn als bei der Normalstellung gerückt, wodurch eine grössere Sicherheit der Stellung bedingt ist.

III. Die militärische Stellung, Tafel VI.

Als
Coordinaten der Gelenkmittelpunkte
wurden aus der Photographie gewonnen

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk		+ 5	0	152
Hüftgelenk	r	0	+ 8,5	87
	l	0	− 8,5	87
Kniegelenk	r	− 4,5	+ 6	47
	l	− 4,5	− 6	47
Tibio-Talusgelenk	r	− 7	+ 4,5	6
	l	− 7	− 4,5	6
Hinterer Fussrand	r	− 11	+ 2	4
	l	− 11	− 2	4
Fussspitze	r	+ 13	+ 12	4,5
	l	+ 13	− 12	4,5
Humeroscapulargelenk	r	+ 4,5	+ 18	133
	l	+ 4,5	− 18	133
Cubitalgelenk	r	+ 0,5	+ 18	102,5
	l	+ 0,5	− 18	102,5
Handgelenk	r	0	+ 18	76
	l	+ 7,5	− 18	76,5

Daraus berechnen sich folgende
Coordinaten der Schwerpunkte für die militärische Stellung, Tafel VI,

von		x	y	z
Kopf		+ 6	0	156
Rumpf		+ 2	0	112,4
Oberschenkel	r	− 2	+ 7,4	69,4
	l	− 2	− 7,4	69,4
Unterschenkel	r	− 5,6	+ 5,4	29,8
	l	− 5,6	− 5,4	29,8
Fuss	r	− 0,7	+ 6,3	3
	l	− 0,7	− 6,3	3
Oberarm	r	+ 2,6	+ 18	118,7
	l	+ 2,6	− 18	118,7
Unterarm	r	+ 0,3	+ 18	91,4
	l	+ 3,4	− 18	91,6
Hand	r	0	+ 18	70
	l	+ 7,5	− 18	70,5

Mit Hilfe dieser Coordinaten stellt sich die

Berechnung der Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes

folgendermassen:

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		+ 24840	0	645840
Rumpf		+ 50120	0	2816744
Oberschenkel . . .	r	— 13600	+ 50320	471920
	l	— 13600	— 50320	471920
Unterschenkel . .	r	— 17304	+ 16686	92082
	l	— 17304	— 16686	92082
Fuss	r	— 735	+ 6615	3150
	l	— 735	— 6615	3150
Oberarm	r	+ 5148	+ 35640	235026
	l	+ 5148	— 35640	235026
Unterarm	r	+ 402	+ 24120	122476
	l	+ 4556	— 24120	122744
Hand	r	0	+ 8820	34300
	l	+ 3675	— 8820	34545
		Sa.: + 30611	Sa.: 0	Sa.: 5381005

folglich:

$$x_0 = + \frac{30611}{58700}\ , \quad y_0 = \frac{0}{58700}\ , \quad z_0 = \frac{5381005}{58700}\ ,$$

oder:

$$x_0 = + 0{,}5 \quad , \quad y_0 = 0 \quad , \quad z_0 = 91{,}7.$$

In diesem Falle war der linke Unterarm zwar nicht erhoben, aber doch gleichzeitig mit dem Oberarm etwas mehr nach vorn gerückt, als es die militärische Haltung verlangt, um die Punkte sichtbar zu machen. Es müssen aber beide Arme genau symmetrisch stehen, und dann gewinnen die drei Coordinaten

vom linken Unterarm die Werthe: + 0,3 , — 18 , 91,4 ,

und von der linken Hand die Werthe: 0 , — 18 , 70.

In Folge davon erhalten dann die Coordinaten des Gesammtschwerpunktes für die militärische Haltung die Werthe:

$$x_0 = + \frac{22782}{58700} = + 0{,}4\ ,$$

$$y_0 = 0\ ,$$

$$z_0 = \frac{5380492}{58700} = 91{,}7.$$

Es wird also durch diese incorrecte Haltung des linken Armes so gut wie nichts an der Lage des Gesammtschwerpunktes geändert;

denn er ist dadurch nur 1 mm nach vorn gerückt worden, während die Höhe dieselbe bleibt.

Der Gesammtschwerpunkt liegt also bei der militärischen Stellung in derselben Höhe, wie bei unserer Normalstellung; er liegt nämlich auch hier 4,7 cm höher als die Hüftgelenkmittelpunkte; dabei ist er gleichzeitig nur um 0,4 cm im Körper nach vorn gerückt, so dass er also immer noch senkrecht über den Hüftgelenken liegt. Dagegen geht die Schwerlinie infolge der schrägen Stellung des Soldaten viel weiter vorn durch die Unterstützungsfläche als bei der Normalstellung.

Beifolgende Figur 7 veranschaulicht die Lage der Schwerlinie zur Unterstützungsfläche.

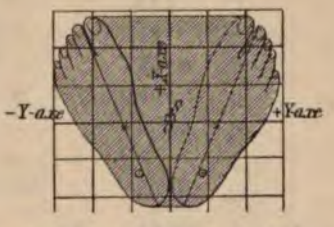


Fig. 7. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡S der Schwerlinie mit derselben für die militärische Stellung, Tafel VI. Der Anfangspunkt O der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

Die Schwerlinie geht an einer Stelle durch die Unterstützungsfläche, welche 7,2 cm vor den Tibio-Talusgelenken liegt, sie ist also hier den Fussballen näher, als den Fersen. Wenn bei der Normalstellung die Sicherheit der Stellung geringer war gegen einen Stoss von vorn, so ist hier die Sicherheit geringer gegen einen Stoss von hinten; d. h. der Körper ist mehr geneigt nach vorn als nach hinten umzufallen. Zwischen beiden Stellungen liegt also in Bezug auf die Sicherheit die bequeme Haltung, Tafel V, welche nahezu gleichmässige Sicherheit bietet gegen Stösse von vorn wie von hinten.

Aus dieser ungünstigen Lage der Schwerlinie bei der militärischen Stellung resultirt eine starke Muskelanstrengung, welche bei längerer Beibehaltung dieser Stellung zu grosser Ermüdung führt. Diese Haltung ist daher eine sehr unpraktische, wenn es gilt, den Mann in einer bestimmten Stellung längere Zeit stillstehen

zu lassen, und wäre nur dann als geeignet zu bezeichnen, wenn sie nur dem Zwecke dienen soll, den Schritt beim Beginn des Marschirens leicht auszulösen.

Wenn Meyer, wie pag. 568 von uns citirt worden ist, die Lage des Schwerpunktes für die aufrechte sichere Stellung, die er als die militärische bezeichnet, in dem zweiten Kreuzbeinwirbel oder unmittelbar über demselben im Canalis sacralis bestimmt, und zwar so, dass die Schwerlinie, welche von diesem ausgeht, 5 cm hinter der Hüftaxe hinabgeht, so entspricht dies weder der militärischen noch der sicheren bequemen Haltung, wie soeben nachgewiesen worden ist. Es ist daher die Meyer'sche Haltung als eine ganz extreme gezwungene Stellung zu bezeichnen, mit übermässiger Rückwärtsbeugung des Rumpfes, die im höchsten Grade unbequem und anstrengend für den Mann sein wird.

Stellungen des belasteten Körpers.

Durch das Entgegenkommen der Militärbehörde wurde uns eine vollständige kriegsgemässe Infanterie-Ausrüstung M/87 zur Verfügung gestellt.

Wir sprechen Herrn Generalmajor Walde und Herrn Major Meissner vom 8. Infanterieregiment Prinz Johann Georg Nr. 107 für ihr liebenswürdiges Entgegenkommen und für ihre Unterstützung unserer Arbeit durch Rath und That, ohne welche die Untersuchung nicht hätte durchgeführt werden können, an dieser Stelle unsern ergebensten Dank aus.

Die Bekleidung des Soldaten musste natürlich vollständig fortfallen, um die Körperformen und die Gelenkmarken deutlich zur Anschauung zu bringen. Dementsprechend haben wir bei der Berechnung auch den Schwerpunkt des Helmes fortgelassen. Es ist freilich dadurch ein Theil der Belastung des Mannes in Wegfall gekommen; da aber die Kleidung sich allseitig an den Körper anschmiegt, so ist durch den Wegfall derselben kaum eine merkliche Verschiebung des Schwerpunktes nach irgend einer Seite zu erwarten. Die schweren Stiefeln finden einen Theil des Gegenwichtes in dem aufgesetzten Helm.

Ebenso wurden auch Leibriemen mit Schloss als zur Kleidung gehörig bei der Berechnung nicht mit berücksichtigt.

Die Infanterie-Ausrüstung M/87.

Es würde für unsere Arbeit genügen, die Gewichte von Gewehr, Seitengewehr mit Spaten, gefüllten Patrontaschen, gefülltem Tornister, Brodbeutel mit Inhalt und Feldflasche zu geben. Wenn in Folgendem der Inhalt des Tornisters noch im Einzelnen aufgeführt wird, so geschieht dies nur deshalb, damit Jedem die Möglichkeit gegeben wird, sich auszurechnen, wie durch etwaige Zuthaten das Gewicht des Tornisters sich vermehren, wie aber auch durch Weglassung einzelner Sachen sich eine Verminderung der Last und damit eine Veränderung der Schwerpunktslage sich gestalten würde.

Angaben über das Gewicht der neuen Infanterie-Ausrüstung, M/87.

Bezeichnung der Stücke		kg	g
1 Tornister			
1 Tornisterbeutel			
1 Tornistertragegerüst			
1 hintere Patronentasche			
40 scharfe Patronen			
1 Hemd			
1 Unterhose			
1 weisse Hose			
2 Paar Fusslappen			
2 Paar Strümpfe			
3 Taschentücher			
1 Paar Schnürschuhe			
1 Soldbuch			
1 Gesangbuch			
1 Kleiderbürste	Gewicht	12	250
1 Stiefelbürste			
1 Schmierbürste			
1 Auftragebürste			
1 Nähzeug			
3 Fleischbüchsen			
4 Blechbüchsen für Gewehrfett, Lederputz, Wichse			
3 Gemüse-Conserven			
3 Portionen Zwieback			
3 Beutel (Salz, Kaffee, Reis)			
1 Feldmütze			
1 Mantel mit 2 Riemen			
1 Kochgeschirr mit 2 Riemen			
	Latus . . .	12	250

Bezeichnung der Stücke		kg	g
	Transport	12	250
1 Leibriemen mit Schloss und Tasche 2 vordere Patronentaschen 60 scharfe Patronen 1 Seitengewehr 1 Spaten mit Futteral 1 Brotbeutel mit Inhalt 1 Feldflasche	Gewicht	7	300
1 Gewehr 1 Gewehrriemen 1 Visirkappe	Gewicht	4	700
	Gesammtgewicht der Ausrüstung	24	250

Das reelle Gewicht der uns zur Verfügung stehenden Ausrüstungsstücke betrug 24 kg 100 g. Die Differenz von 150 g rührt davon her, dass von uns der Inhalt des Brotbeutels zu gering angenommen worden ist. Dies haben wir aber deshalb gethan, um das Gewicht des gefüllten Brotbeutels mit Feldflasche, das ja sehr variabel sein wird, gleich dem Gewicht des Seitengewehrs und Spatens zu machen, was für die Rechnung eine Erleichterung giebt.

Gewichte und Schwerpunktslagen der einzelnen von uns benutzten Ausrüstungsgegenstände.

Gewichte.

1) Tornister mit hinterer Patronentasche (mit 40 scharfen Patronen) . . . . . 12250 g
2) Zwei vordere Patronentaschen mit je 30 scharfen Patronen, à 1590 g . . . . , ... 3180 g
3) Seitengewehr mit Spaten . . . . . 1570 g
4) Gefüllter Brotbeutel mit Flasche . . . . . 1570 g
5) Gewehr . . . . . 4700 g

Sa.: 23270 g

7) Helm . . . . . 525 g
7) Leibriemen mit Schloss 305 g

Sa.: 830 g

\+ 830 g

Sa.: 24100 g

Schwerpunktslagen.

Dieselben wurden mittelst dreier Aufhängungen bestimmt.

1) Der Schwerpunkt des bepackten Tornisters, vgl. Fig. 8 u. Fig. 9, mit gefüllter hinterer Patronentasche liegt 155 mm über dem unteren Rande des Tornisters (nicht der Patronentasche) und 185 mm unter dem oberen Rande desselben (nicht des Mantels),

Fig. 8. 1/10 der natürlichen Grösse. Fig. 9.

Vorderansicht Seitenansicht

des gepackten Tornisters mit gefüllter hinterer Patronentasche (scharfe Patronen). *S* Projection des Schwerpunktes auf die Vorderfläche und Seitenfläche des Tornisters.

genau in der Medianebene, welche den Tornister in eine rechte und eine linke Hälfte theilt, und zwar 70 mm hinter der Ebene der Begrenzungskanten seiner vorderen Fläche, und da er durch die Bepackung nach vorn gewölbt ist, 100 mm hinter der Mitte der vorderen Ausbuchtung.

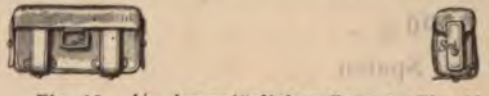


Fig. 10. 1/10 der natürlichen Grösse. Fig. 11.

Hinteransicht Seitenansicht

einer vorderen Patronentasche (mit scharfen Patronen gefüllt). *S* Projection des Schwerpunktes auf die Hinterfläche und Seitenfläche der Patronentasche.

2) Der Schwerpunkt einer vorderen Patronentasche, Fig. 10 u. 11, liegt 50 mm von oben und 34 mm von unten, 22 mm von der Mitte der vorderen Fläche entfernt.

3) Der Schwerpunkt des Seitengewehrs mit Spaten und Tasche, Fig. 12, liegt 265 mm unter dem oberen Rande der Tasche, etwas nach vorn.

Fig. 12. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Seitenansicht des Seitengewehrs mit Spaten. *S* Projection des gemeinsamen Schwerpunktes.

4) Der gemeinsame Schwerpunkt des gefüllten Brotbeutels mit Feldflasche, der ja mit dem wechselnden Inhalte seine Lage verändert, wurde symmetrisch zu dem gemeinsamen Schwerpunkt des Spatens mit Seitengewehr angenommen.

Fig. 13. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Seitenansicht des Gewehrs, M/71. 84. *S* Projection des Schwerpunktes auf die Oberfläche des Schaftes.

5) Der Schwerpunkt des Gewehrs M/71. 84 ohne Mündungsdeckel und ohne Visirkappe liegt in einer Transversalebene des Gewehrs, welche 20 mm von dem unteren Rande des Visirfusses entfernt durch das Achtkant geht; und zwar 15 mm unterhalb der oberen und 26 mm über der unteren Fläche des Schaftes, vgl. Fig. 13.

IV. Die militärische Stellung bei präsentirtem Gewehr, Tafel VII und VIII.

Als
Coordinaten der Gelenkmittelpunkte
ergaben sich bei dieser Stellung

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk . . .		+ 3	+ 1,5	151
Hüftgelenk	r	0	+ 8,5	87
	l	0	— 8,5	87
Kniegelenk	r	— 5,5	+ 6	47
	l	— 5,5	— 6	47
Tibio-Talusgelenk	r	— 10	+ 4,5	6
	l	— 10	— 4,5	6
Hinterer Fussrand	r	— 14	+ 2	4
	l	— 14	— 2	4
Fussspitze.	r	+ 10	+ 12	1,5
	l	+ 10	— 12	1,5
Humeroscapulargelenk . .	r	+ 5,5	+ 18	133
	l	+ 5,5	— 18	131
Cubitalgelenk	r	+ 15	+ 13,5	103
	l	+ 4	— 20	101
Handgelenk	r	+ 23	+ 7,5	81
	l	+ 25,5	— 7,5	102

Daraus berechnen sich folgende

Coordinaten der Schwerpunkte für die militärische Stellung bei präsentirtem Gewehr, Tafel VII und VIII,

von		x	y	z
Kopf		+ 4	+ 1,5	155
Rumpf		+ 1,2	+ 0,6	122
Oberschenkel	r	— 2,4	+ 7,4	69,4
	l	— 2,4	— 7,4	69,4
Unterschenkel	r	— 7,4	+ 5,4	29,8
	l	— 7,4	— 5,4	29,8
Fuss	r	— 3,7	+ 6,3	3
	l	— 3,7	— 6,3	3
Oberarm	r	+ 10	+ 15,9	118,9
	l	+ 4,8	— 18,9	116,9
Unterarm	r	+ 18,4	+ 11	93,8
	l	+ 13	— 14,8	101,4
Hand.	r	+ 27	+ 4,5	77
	l	+ 29,5	— 3,5	103
Gewehr.		+ 27	— 0,5	104,5

Dabei sind hier wie in allen späteren Fällen die Coordinaten des Schwerpunktes vom Gewehr ebenso wie die des Schwerpunktes von Kopf und Händen direct aus den Photographien bestimmt.

Unter Benutzung dieser Coordinatenwerthe stellt sich dann die

Berechnung der Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes

folgendermassen:

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		+ 16560	+ 6210	645840
Rumpf		+ 30072	+ 15036	2806720
Oberschenkel . . .	r	— 16320	+ 50320	471920
	l	— 16320	— 50320	471920
Unterschenkel . .	r	— 22866	+ 16686	92082
	l	— 22866	— 16686	92082
Fuss	r	— 3885	+ 6615	3150
	l	— 3885	— 6615	3150
Oberarm	r	+ 19800	+ 31482	235422
	l	+ 9504	— 37422	231462
Unterarm	r	+ 24656	+ 14740	125692
	l	+ 17420	— 19832	135876
Hand	r	+ 13230	+ 2205	37730
	l	+ 14455	— 1715	50470
Gewehr		+126900	— 2350	491150
		Sa.: +186455	Sa.: + 8354	Sa.: 5894666

folglich:

$$x_0 = + \frac{186455}{63409}, \quad y_0 = + \frac{8354}{63400}, \quad z_0 = \frac{5894666}{63400},$$

oder: $x_0 = + 2{,}9 \quad , \quad y_0 = + 0{,}1 \quad , \quad z_0 = 93{,}0.$

Die beifolgende Fig. 14 giebt die Unterstützungsfläche und den Schnittpunkt S der Schwerlinie mit derselben für die Stellung mit präsentirtem Gewehr, Tafel VII und VIII.

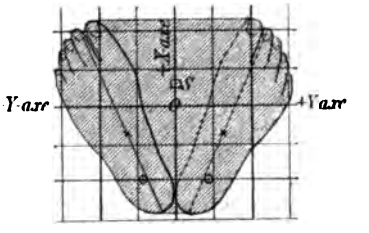


Fig. 14. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊠S der Schwerlinie mit derselben für die Stellung mit präsentirtem Gewehr, Taf. VII u. VIII. Der Anfangspunkt O der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

Die Schwerlinie liegt also in diesem Falle dem vorderen Ende des Fusses viel näher als dem hinteren, so dass diese Stellung eine äusserst unsichere ist, bei der ein Vorwärtsfallen sehr leicht zu Stande kommen kann. Der Schwerpunkt liegt 12,9 cm weiter vorn als das Tibio-Talusgelenk, 2,9 cm vor dem Hüftgelenk, und 6 cm höher als dasselbe. Durch das Gewehr und in Folge der dadurch bedingten Haltung des linken Unterarmes ist also der Schwerpunkt 1,3 cm höher gerückt als bei der militärischen Stellung auf Tafel VI. Um zu unterscheiden, wie weit durch das Gewehr allein der Schwerpunkt in diesem Falle nach vorn und nach oben verlegt worden ist, hat man nur die Coordinaten des Schwerpunktes für dieselbe Stellung bei der gleichen Haltung der Arme, aber ohne Gewehr, zu berechnen. Es wird dann:

$$x_0 = + \frac{59555}{58700} = + 1{,}0,$$

$$y_0 = + \frac{10704}{58700} = + 0{,}2,$$

$$z_0 = \frac{5403516}{58700} = 92{,}1.$$

Es wird also durch das Gewehr allein der Schwerpunkt nur 0,9 cm gehoben und 1,9 cm nach vorn gerückt, was daraus zu erklären ist, dass durch die vorgehaltenen Arme an sich schon der Schwerpunkt nach oben und vorn dislocirt worden ist gegenüber der rein militärischen Stellung auf Tafel VI. Ausserdem ist zu bemerken, dass beim Präsentiren durch die Last des vorgehaltenen Gewehres der Körper an und für sich weiter nach vorn übergeneigt wird, als bei der militärischen Haltung ohne Waffe, was allein schon eine Verschiebung des Schwerpunktes nach vorn bedingt.

V. Die Stellung des Soldaten beim Feuern ohne Gepäck.

Tafel IX und X.

Als

Coordinaten der Gelenkmittelpunkte

ergaben sich bei dieser Stellung

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk . . .		+ 3,5	+ 3,5	147
Hüftgelenk	r	− 5	+ 7,5	86
	l	+ 5	− 7,5	86
Kniegelenk	r	− 9,5	+ 11	46,5
	l	+ 8	− 13	46,5
Tibio-Talusgelenk	r	− 11	+ 16	6
	l	+ 7	− 19	6
Hinterer Fussrand	r	− 14,5	+ 12,5	4
	l	+ 2	− 18,5	4
Fussspitze.	r	+ 5	+ 29,5	1,5
	l	+ 28	− 18,5	1,5
Humeroscapulargelenk . .	r	− 16	+ 15	137
	l	+ 9,5	− 14	132,5
Cubitalgelenk	r	− 2,5	+ 37	133
	l	+ 38,5	− 3,5	120
Handgelenk	r	+ 16,5	+ 15,5	141,5
	l	+ 54	+ 8	141

Hieraus folgen als

Coordinaten der Schwerpunkte für die Stellung des Soldaten beim Feuern ohne Gepäck, Tafel IX und X,

von		x	y	z
Kopf		+ 4,5	+ 5	151
Rumpf		+ 1,4	+ 1,4	109,8
Oberschenkel	r	− 7	+ 9	68,6
	l	+ 6,3	− 9,9	68,6
Unterschenkel	r	− 10,1	+ 13,1	29,5
	l	+ 7,6	− 15,5	29,5
Fuss	r	− 6,1	+ 19,8	3
	l	+ 13,2	− 18,5	3
Oberarm	r	− 9,7	+ 25,3	135,1
	l	+ 23,1	− 9,1	126,6
Unterarm	r	+ 5,5	+ 28	136,6
	l	+ 45	+ 1,3	128,8
Hand.	r	+ 20	+ 12,5	142,5
	l	+ 57,5	+ 8,5	142,5
Gewehr.		+ 48	+ 9,5	146

Unter Benutzung dieser Coordinaten stellt sich dann die

Berechnung der Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes

folgendermassen:

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		+ 18630	+ 20700	625140
Rumpf		+ 35084	+ 35084	2751588
Oberschenkel	r	− 47600	+ 61200	466180
	l	+ 42840	− 67320	466480
Unterschenkel	r	− 31209	+ 40479	91155
	l	+ 23484	− 47895	91155
Fuss	r	− 6405	+ 20790	3150
	l	+ 13860	− 19425	3150
Oberarm	r	− 19206	+ 50094	267498
	l	+ 45738	− 48018	250668
Unterarm	r	+ 7370	+ 37520	183044
	l	+ 60300	+ 1742	172592
Hand	r	+ 9800	+ 6125	69825
	l	+ 28175	+ 4165	69825
Gewehr		+225600	+ 44650	686200
		Sa.: +406461	Sa.: +169891	Sa.: 6197950

folglich:

$$x_0 = + \frac{406461}{63400} \quad , \quad y_0 = + \frac{169891}{63400} \quad , \quad z_0 = \frac{6197950}{63400} \quad ,$$

oder:

$$x_0 = + 6{,}4 \quad , \quad y_0 = + 2{,}7 \quad , \quad z_0 = 97{,}8.$$

Der Schwerpunkt liegt in diesem Falle 11,8 cm höher als die Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte, und 7,1 cm höher als bei unserer Normalstellung. Er fällt über das Promontorium ungefähr in die Höhe der Bandscheibe zwischen dem vierten und fünften Lendenwirbel, circa 5,5 cm vor derselben, circa 1 cm nach links von der Medianebene und 7 cm vor das Centrum der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte.

Beifolgende Fig. 15 erläutert das Verhältniss der Schwerlinie zur Unterstützungsfläche.

Bei dieser Haltung der Füsse ist, wie aus der Figur ersichtlich ist, eine grosse Unterstützungsfläche gewonnen, und dadurch, dass die Schwerlinie näher der vorderen Grenze der Unterstützungsfläche liegt als der hinteren, ist eine grosse Sicherheit der Stellung gegen

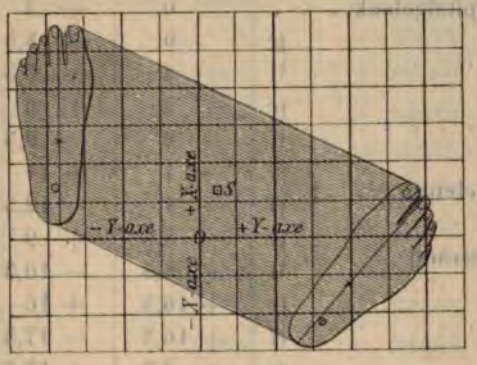


Fig. 15. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡*S* der Schwerlinie mit derselben für die Feuerstellung des nackten Soldaten ohne Gepäck, Tafel IX u. X. Der Anfangspunkt *O* der Coordinaten ist die Projection des Mittelpunktes der Verbindungslinie der Hüftgelenkcentren. ⊙ markirt den Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × bezeichnet den Schwerpunkt des Fusses.

den Rückstoss des Gewehres bedingt. Es erhellt ferner aus der Figur ein weiterer Vortheil, der durch die Rückwärts- und Seitwärtsstellung des rechten Fusses gewonnen wird; denn in der Richtung der negativen X-Axe, d. h. in der Richtung, in welcher der Rückstoss des Gewehres erfolgt, ist dadurch der Abstand der Schwerlinie von der hinteren Grenze der Unterstützungsfläche noch vergrössert worden.

VI. Stellung des nackten Mannes mit vorgehaltenem Gewehr bei ausgestrecktem Arme, Tafel XI und XII.

Als

Coordinaten der Gelenkmittelpunkte

ergaben sich

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk		0	+ 3	150
Hüftgelenk	r	0	+ 8,5	87
	l	0	− 8,5	87
Kniegelenk	r	− 2	+ 9	47
	l	− 2	− 9,5	47
Tibio-Talusgelenk	r	− 4	+ 11	6
	l	− 4	− 12,5	6
Hinterer Fussrand	r	− 8,5	+ 9	4
	l	− 8,5	− 10,5	4
Fussspitze	r	+ 16,5	+ 16	1,5
	l	+ 16,5	− 17,5	1,5
Humeroscapulargelenk	r	+ 2,5	+ 17,5	137
	l	− 5	− 16,5	134
Cubitalgelenk	r	+ 29,5	+ 15,5	134
	l	− 5	− 18	100
Handgelenk	r	+ 53,5	+ 12,5	140,5
	l	+ 3,5	− 21	74

Hieraus folgen die

Coordinaten der Schwerpunkte für die Stellung des nackten Mannes bei vorgehaltenem Gewehr, Tafel XI und XII,

von		x	y	z
Kopf		+ 1	+ 4	154
Rumpf		0	+ 1,2	111,6
Oberschenkel	r	− 1,1	+ 8,7	69,4
	l	− 1,1	− 8,9	69,4
Unterschenkel	r	− 2,8	+ 9,8	29,8
	l	− 2,8	− 10,8	29,8
Fuss	r	+ 2,3	+ 12	3
	l	+ 2,3	− 13,5	3
Oberarm	r	+ 15,2	+ 16,6	134,2
	l	− 5	− 17,2	116,4
Unterarm	r	+ 39,6	+ 14,2	135
	l	− 1,4	− 19,3	89,1
Hand	r	+ 57	+ 11	140,5
	l	+ 6	− 22	69
Gewehr		+ 86,5	+ 7	143,5

Unter Benutzung dieser Coordinatenwerthe ergiebt sich folgende

Berechnung für die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes.

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		+ 4140	+ 16560	637560
Rumpf		0	+ 30072	2796696
Oberschenkel . .	r	— 7480	+ 59160	471920
	l	— 7480	— 60520	471920
Unterschenkel . .	r	— 8652	+ 30282	92082
	l	— 8652	— 33372	92082
Fuss	r	+ 2415	+ 12600	3150
	l	+ 2415	— 14175	3150
Oberarm	r	+ 30096	+ 32868	265716
	l	— 9900	— 34056	230472
Unterarm	r	+ 53064	+ 19028	180900
	l	— 1876	— 25862	119394
Hand	r	+ 27930	+ 5390	68845
	l	+ 2940	— 10780	33810
Gewehr		+406550	+ 32900	674450
		Sa.: +485510	Sa.: + 60095	Sa.: 6152147

folglich:

$$x_0 = + \frac{485510}{63400}\ , \quad y_0 = + \frac{60095}{63400}\ , \quad z_0 = \frac{6152147}{63400}\ ,$$

oder:

$$x_0 = + 7{,}7 \quad , \quad y_0 = + 0{,}9 \quad , \quad z_0 = 97{,}0.$$

Der Schwerpunkt liegt in diesem Falle 10 cm höher als die Hüftgelenkmittelpunkte, also ungefähr in der Höhe der Mitte des fünften Lendenwirbels, 7,7 cm weiter nach vorn als die Hüftgelenkmittelpunkte. Er tritt ganz aus dem Becken heraus, denn er liegt noch weiter nach vorn als der vordere Rand des Beckens reicht. Ausserdem ist er 0,9 cm nach rechts von der Medianebene verschoben.

Folgende Fig. 16 erläutert das Verhältniss der Schwerlinie zur Unterstützungsfläche.

Bei dieser Stellung ist die Schwerlinie in Beziehung auf die Unterstützungsfläche zwar ziemlich weit nach vorn gerückt, aber doch nicht ganz so weit als beim Präsentiren, was man vielleicht erwartet hätte. Dies hat darin seinen Grund, dass der Mann seinen Körper beliebig weit zurückgenommen hat, während ihm beim Präsentiren eine Vorwärtsneigung des Körpers aufgezwungen wird. Dagegen ist

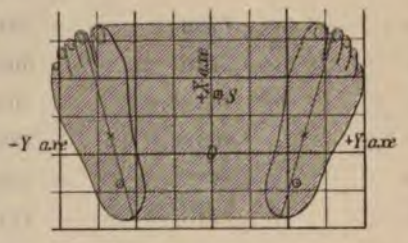


Fig. 16. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡S der Schwerlinie mit derselben für die Stellung des nackten Mannes mit vorgehaltenem Gewehr, Tafel XI u. XII. Der Anfangspunkt O der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

aber die Schwerpunktslage im Körper noch weiter nach vorn gerückt, als beim Präsentiren, nämlich beinahe 5 cm, so dass sein Schwerpunkt fast ausserhalb des Körpers zu liegen kommt, was eben die angenommene Rückwärtsbiegung nothwendig macht. Eine militärische Haltung bei dieser Lage der Belastung durch das Gewehr ist unmöglich. Es ist ebenso unmöglich, bei übermässiger Belastung des Körpers nach vorn, wie z. B. durch die grosse Trommel, eine militärische Haltung einzunehmen.

Um den Einfluss zu bestimmen, den bei dieser Haltung des Körpers das vorgestreckte Gewehr auf die Lage des Schwerpunktes hat, braucht man nur die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Schwerpunktes bei Weglassung des Gewehres für dieselbe Haltung des Körpers zu bestimmen. Es wird dann:

$$x_0 = + \frac{78960}{58700} = + 1{,}3 \ ,$$

$$y_0 = + \frac{27195}{58700} = + 0{,}4 \ ,$$

$$z_0 = \frac{5477697}{58700} = 93{,}3.$$

Das heisst also: durch das vorgestreckte Gewehr wird bei derselben Haltung des Körpers der Schwerpunkt 6,4 cm weiter nach vorn, 0,5 cm weiter nach rechts und 3,7 cm höher gerückt.

VII. Militärische Haltung mit vollem Gepäck und Gewehr über, Tafel XIII und XIV.

Als
Coordinaten der Gelenkmittelpunkte
ergaben sich

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk		+ 3	+ 1	151
Hüftgelenk	r	0	+ 8,5	87
	l	0	− 8,5	87
Kniegelenk	r	− 5,5	+ 6	47
	l	− 5,5	− 6	47
Tibio-Talusgelenk	r	− 11	+ 4,5	6
	l	− 11	− 4,5	6
Hinterer Fussrand	r	− 15	+ 2	4
	l	− 15	− 2	4
Fussspitze	r	+ 9	+ 12	1,5
	l	+ 9	− 12	1,5
Humeroscapulargelenk	r	+ 3	+ 19	132
	l	+ 6,5	− 18	131
Cubitalgelenk	r	− 1	+ 21	101
	l	+ 4	− 27,5	102
Handgelenk	r	+ 0,5	+ 24	74
	l	+ 26	− 18	91

Hieraus folgen die

Coordinaten der Schwerpunkte für die militärische Haltung mit vollem Gepäck und Gewehr über, Tafel XIII und XIV,

von		x	y	z
Kopf		+ 4	+ 1	155
Rumpf		+ 1,2	+ 0,4	112
Oberschenkel	r	− 2,4	+ 7,4	69,4
	l	− 2,4	− 7,4	69,4
Unterschenkel	r	− 7,8	+ 5,4	29,8
	l	− 7,8	− 5,4	29,8

von		x	y	z
Fuss	∫r	— 4,7	+ 6,3	3
	\l	— 4,7	— 6,3	3
Oberarm	∫r	+ 1,1	+ 19,9	117,4
	\l	+ 5,3	— 22,5	117,4
Unterarm	∫r	— 0,4	+ 22,3	89,7
	\l	+ 13,2	— 23,5	97,4
Hand	∫r	+ 0,5	+ 23,5	69
	\l	+ 29,5	— 15,5	90
Gewehr		+ 6	— 11,5	143
Tornister mit hinterer Patronentasche		— 15,5	+ 0,4	114,5
Vordere Patronentasche	∫r	+ 16	+ 12,5	95,5
	\l	+ 16	— 12,5	95,5
Seitengewehr mit Spaten		— 7,5	— 18	75
Brotbeutel mit Feldflasche		— 7,5	+ 18	75

Unter Benutzung dieser Coordinatenwerthe und der auf pag. 91 niedergelegten Gewichte der Ausrüstungsgegenstände ergiebt sich dann folgende

Berechnung für die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes.

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		+ 16560	+ 4140	641700
Rumpf		+ 30072	+ 10024	2806720
Oberschenkel	∫r	— 16320	+ 50320	471920
	\l	— 16320	— 50320	471920
Unterschenkel	∫r	— 24102	+ 16686	92082
	\l	— 24102	— 16686	92082
Fuss	∫r	— 4935	+ 6615	3150
	\l	— 4935	— 6615	3150
Oberarm	∫r	+ 2178	+ 39402	232452
	\l	+ 10494	— 44550	232452
Unterarm	∫r	— 536	+ 29882	120198
	\l	+ 17688	— 31490	130516
Hand	∫r	+ 245	+ 11515	33810
	\l	+ 14455	— 7595	44100
Gewehr		+ 28200	— 54050	672100
Tornister m. hint. Patronentasche		—189875	+ 4900	1402625
Vordere Patronentasche	∫r	+ 25440	+ 19875	151845
	\l	+ 25440	— 19875	151845
Seitengewehr mit Spaten		— 11775	— 28260	117750
Brotbeutel m. Feldflasche (gefüllt)		— 11775	+ 28260	117750
		Sa.: —133903	Sa.: — 37822	Sa.: 7990167

folglich:

$$x_0 = -\frac{133903}{81970}\ , \quad y_0 = -\frac{37822}{81970}\ , \quad z_0 = \frac{7990167}{81970}\ ,$$

oder:

$$x_0 = -1{,}6\ , \quad y_0 = -0{,}5\ , \quad z_0 = 97{,}5.$$

Der Schwerpunkt liegt in diesem Falle 10,5 cm höher als die Hüftgelenkmittelpunkte, also etwas über der Mitte des fünften Lendenwirbels, und zwar im Lendenwirbel selbst, nämlich 1,6 cm weiter hinten als die Mittelpunkte der Hüftgelenke. Er liegt ferner nicht genau in der Medianebene, sondern 0,5 cm nach links von derselben. Dies erklärt sich aus der Lage des Gewehres auf der linken Schulter.

Beifolgende Fig. 17 erläutert das Verhältniss der Schwerlinie zur Unterstützungsfläche.

Fig. 17. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡S der Schwerlinie mit derselben für die militärische Stellung mit vollem Gepäck und Gewehr über, Tafel XIII u. XIV. Der Anfangspunkt O der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

Um zu bestimmen, welchen Einfluss das Gewehr allein und das Gepäck auf die Lage des Schwerpunktes in diesem Falle ausübt, hat man nur die Coordinaten des Schwerpunktes für dieselbe Stellung zu berechnen, indem man einmal die Coordinaten des Schwerpunktes vom Gewehr allein ausser Rechnung lässt und die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes daraus berechnet, und dann auch noch die Schwerpunktscoordinaten für die anderen Ausrüstungsgegenstände ausser Rechnung lässt.

Bei Weglassung des Schwerpunktes vom Gewehr erhält man als Coordinaten des Gesammtschwerpunktes:

$$x_0 = + \frac{162103}{77270} = - 2{,}1 \ ,$$

$$y_0 = + \frac{16228}{77270} = + 0{,}2 \ ,$$

$$z_0 = \frac{7318067}{77270} = 94{,}7.$$

Bei dieser Haltung des Körpers hat der Lebende noch den linken Arm im Ellbogengelenk gebeugt und die Hand, wie es für die Haltung des Gewehres nothwendig war, nach vorn und etwas nach der Mitte zu genommen. Um zu constatiren, wie weit der Schwerpunkt dadurch nach vorn, rechts und oben gerückt wird, hat man die Haltung des linken Armes symmetrisch zu der des rechten anzunehmen. Dann stellen sich die Coordinaten des Gesammtschwerpunktes für den Körper mit voller Ausrüstung, aber ohne Gewehr, bei symmetrischer Haltung der Arme folgendermassen:

$$x_0 = - \frac{202853}{77270} = - 2{,}6 \ ,$$

$$y_0 = + \frac{19064}{77270} = + 0{,}2 \ ,$$

$$z_0 = \frac{7297459}{77270} = 94{,}4.$$

Hieraus ist zu ersehen, dass durch die Haltung des linken Armes der Schwerpunkt 0,5 cm weiter nach vorn und 0,3 cm weiter nach oben gerückt wird; während die Abweichung von der Medianebene dieselbe geblieben ist, nämlich 0,2 cm. Dass bei dieser Haltung der Schwerpunkt nicht genau in die Medianebene gefallen ist, wie man hätte erwarten sollen, rührt daher, dass der Betreffende seinen Oberkörper etwas nach rechts gebeugt hat, wie aus der Figur auf Tafel XIII zu ersehen ist.

Bei Weglassung der Schwerpunkte sämmtlicher Ausrüstungsstücke (inclusive Gewehr) erhält man als Schwerpunktscoordinaten des Gesammtkörpers für die Haltung, welche er in Folge der Belastung eingenommen hat:

$$x_0 = + \frac{442}{58700} = 0 \ ,$$

$$y_0 = + \frac{11328}{58700} = + 0{,}2 \ ,$$

$$z_0 = \frac{5376252}{58700} = 91{,}6.$$

Wenn bei dieser Haltung des Körpers ohne alles Gepäck und Gewehr der linke Arm symmetrisch zum rechten gestellt wird, so erhalten die Coordinaten des Gesammtschwerpunktes folgende Werthe:

$$x_0 = -\frac{40308}{58700} = -0{,}7\ ,$$

$$y_0 = +\frac{14164}{58700} = +0{,}2\ ,$$

$$z_0 = \frac{5355644}{58700} = 91{,}2.$$

Um zu prüfen, welchen Einfluss das Gewehr allein hat bei Gewehr über und dieser Körperhaltung, hat man nur die Schwerpunktscoordinaten des Gepäcks (exclusive Gewehr) ausser Rechnung zu lassen. Dann wird:

$$x_0 = +\frac{28642}{63400} = +0{,}5\ ,$$

$$y_0 = -\frac{42722}{63400} = -0{,}7\ ,$$

$$z_0 = \frac{6048352}{63400} = 95{,}4.$$

Wegen der besseren Vergleichung der bei der militärischen Stellung in voller Ausrüstung gefundenen Resultate sind in folgender Tabelle die Coordinaten des Gesammtschwerpunktes für die einzelnen Fälle zusammengestellt.

	Für die abgebildete Haltung			Für die symmetrische Haltung		
	x_0	y_0	z_0	x_0	y_0	z_0
Körper mit vollem Gepäck und Gewehr	− 1,6	− 0,5	97,5	—	—	—
Körper mit vollem Gepäck ohne Gewehr	− 2,1	+ 0,2	94,7	− 2,6	+ 0,2	94,4
Körper ohne Gepäck mit Gewehr	+ 0,5	− 0,7	95,4	—	—	—
Körper allein	0	+ 0,2	91,6	− 0,7	+ 0,2	91,2

Durch das Gepäck wird also, wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, der Schwerpunkt verhältnissmässig nur wenig verschoben; denn er wird nur 3,2 cm höher und

1,9 cm weiter nach rückwärts verlegt, wie ein Vergleich der Zahlen bei symmetrischer Haltung des Körpers lehrt. Da der Radius der Hüftgelenkkugel durchschnittlich 2,5 cm beträgt, so wird durch das neue Gepäck die Schwerlinie noch nicht einmal aus dem Bereiche der Hüftgelenke verschoben. Darauf beruht die Vorzüglichkeit der neuen Gepäckordnung.

Eine Controle für diese Berechnung ergiebt sich aus einer directen Messung, die seiner Zeit am Cadaver Nr. III ausgeführt wurde. Nachdem der Cadaver in der glatten Rückenlage steif gefroren war, wurde ihm, so gut dies anging, das Gepäck (ohne Gewehr) umgehängt und darauf die Schwerpunktsbestimmung in oben beschriebener Weise vorgenommen. Als Resultat ergab sich eine Verschiebung des Schwerpunktes um 2,5 cm nach rückwärts und um 3,5 cm nach oben. Die Höhenverschiebung stimmt also bis auf 2 mm mit unserer Rechnung überein, während die Rückwärtsverschiebung um 6 mm differirt. Diese Differenz rührt aber davon her, dass der festgefrorene Cadaver nicht die gleiche Haltung zeigen konnte wie der aufrecht stehende Mann, bei dem in Folge der Tornisterlast der Rücken etwas eingebogen ist.

Aus der Tabelle auf pag. 661 ist ferner ersichtlich, dass für dieselbe Haltung des Körpers das Gewehr auf der linken Schulter eine Verlegung des Schwerpunktes um 0,5 cm nach vorn, 0,9 cm nach links und 3,8 cm nach oben bedingt.

VIII. Stellung des Soldaten mit vollem Gepäck beim Feuern, Tafel XV und XVI.

Als
Coordinaten der Gelenkmittelpunkte
ergaben sich

für		x	y	z
Atlanto-Occipitalgelenk		+ 1	+ 7	147
Hüftgelenk	r	− 5	+ 7	86
	l	+ 5	− 7	86
Kniegelenk	r	− 12	+ 9	46,5
	l	+ 5	− 14	46,5
Tibio-Talusgelenk	r	− 16	+ 15	6
	l	+ 2,5	− 21	6
Hinterer Fussrand	r	− 19,5	+ 11	4
	l	− 2,5	− 20,5	4
Fussspitze	r	0	+ 28	1,5
	l	+ 23,5	− 20,5	1,5
Humeroscapulargelenk	r	− 19	+ 14,5	135
	l	+ 7,5	− 12,5	133
Cubitalgelenk	r	− 5	+ 36,5	128
	l	+ 36,5	− 1,5	120
Handgelenk	r	+ 16,5	+ 18,5	141
	l	+ 49,5	+ 11,5	141

Hieraus folgen die

Coordinaten der Schwerpunkte für die Stellung des Soldaten mit vollem Gepäck beim Feuern, Tafel XV und XVI,

von		x	y	z
Kopf		+ 1,5	+ 8,5	151
Rumpf		+ 0,4	+ 2,7	109,8
Oberschenkel	r	− 8,1	+ 7,9	68,6
	l	+ 5	− 10,1	68,6
Unterschenkel	r	− 13,7	+ 11,5	29,5
	l	+ 4	− 16,9	29,5
Fuss	r	− 11,1	+ 18,3	3
	l	+ 8,7	− 20,5	3
Oberarm	r	− 12,4	+ 21,8	131,7
	l	+ 21,1	− 7,3	126,9

von		x	y	z
Unterarm	r	+ 4	+ 28,9	133,5
	l	+ 42	+ 4	128,8
Hand	r	+ 19,5	+ 16	142,5
	l	+ 53	+ 12	142,5
Gewehr		+ 47,5	+ 13	146
Tornister mit hinterer Patronentasche		— 18	— 8	114
Vordere Patronentasche	r	— 2,5	+ 15	98
	l	+ 16	— 3,5	98
Seitengewehr mit Spaten		+ 2	— 21	74
Brodbeutel mit Feldflasche		— 12	+ 12	74

Unter Benutzung dieser Coordinatenwerthe ergiebt sich dann folgende

Berechnung für die Coordinaten x_0, y_0, z_0 des Gesammtschwerpunktes.

Es ist für:		$p_i x_i$	$p_i y_i$	$p_i z_i$
Kopf		+ 6210	+ 35190	625140
Rumpf		+ 10024	+ 67662	2751588
Oberschenkel	r	— 55080	+ 53720	466480
	l	+ 34000	— 68680	466480
Unterschenkel	r	— 42333	+ 35535	91455
	l	+ 12360	— 52221	91155
Fuss	r	— 11655	+ 19215	3150
	l	+ 9135	— 21525	3150
Oberarm	r	— 24552	+ 49104	260766
	l	+ 41778	— 11454	251262
Unterarm	r	+ 5360	+ 38726	178890
	l	+ 56280	+ 5360	172592
Hand	r	+ 9555	+ 7840	69825
	l	+ 25970	+ 5880	69825
Gewehr		+223250	+ 61100	686200
Tornister m. hint. Patronentasche		—220500	— 98000	1396500
Vordere Patronentasche	r	— 3975	+ 23850	155820
	l	+ 25440	— 5565	155820
Seitengewehr mit Spaten		+ 3140	— 32970	116180
Brodbeutel m. Feldflasche (gefüllt)		— 18840	+ 18840	116180
		Sa.: + 85567	Sa.: +128607	Sa.: 8128158

folglich:

$$x_0 = + \frac{85567}{81970} , \quad y_0 = + \frac{128607}{81970} , \quad z_0 = \frac{8128158}{81970} ,$$

oder:

$$x_0 = + 1{,}0 , \quad y_0 = + 1{,}6 , \quad z_0 = 99{,}2.$$

Der Schwerpunkt liegt in diesem Falle 13,2 cm höher als die Hüftgelenkmittelpunkte, ungefähr in der Höhe des unteren Drittels vom vierten Lendenwirbel, am vorderen Rande des Wirbelkörpers. Er liegt ferner etwas über 1 cm nach rechts von der Medianebene entfernt, die hier wegen der Drehung der Wirbelsäule nicht genau bestimmbar ist.

Folgende Fig. 18 erläutert das Verhältniss der Schwerlinie zur Unterstützungsfläche.

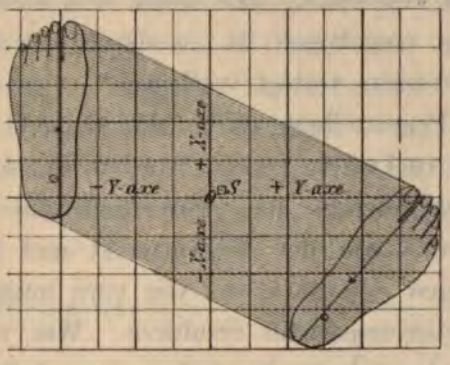


Fig. 18. $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse.

Die Unterstützungsfläche und der Schnittpunkt ⊡*S* der Schwerlinie mit derselben für die Stellung des nackten Soldaten mit vollem Gepäck beim Feuern, Tafel XV u. XVI. Der Anfangspunkt *O* der Coordinaten ist die Projection des Centrums der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. ⊙ Mittelpunkt des Tibio-Talusgelenkes. × Schwerpunkt des Fusses.

Um den Einfluss festzustellen, welchen bei der Feuerstellung das Gepäck auf die Lage des Schwerpunktes hat, sind in der Berechnung der Coordinaten x_0, y_0, z_0 alle auf das Gepäck bezüglichen Producte mit Ausnahme der des Gewehres wegzulassen. Es wird dann:

$$x_0 = + \frac{300302}{63400} = + 4{,}7 ,$$

$$y_0 = + \frac{222452}{63400} = + 3{,}5 ,$$

$$z_0 = \frac{6187658}{63400} = 97{,}6.$$

Daraus ergiebt sich, dass der Schwerpunkt des feuernden Mannes ohne Gepäck, aber in derselben Haltung des Rumpfes, die er bei der Feuerstellung mit Gepäck eingenommen hatte, in der Höhe der vorletzten Bandscheibe liegt, und zwar 3 cm davor und circa über 1 cm nach rechts von der Medianebene. Er liegt somit ungefähr 5 cm weiter nach vorn als die Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. Es wird also der Schwerpunkt durch das Gepäck circa 3,5 cm nach rückwärts und 1,6 cm nach aufwärts verschoben.

Bei der Feuerstellung, die der Mann ohne Gepäck einnahm, vgl. pag. 652 und 653, lag der Schwerpunkt nahezu in derselben Höhe, aber 7 cm vor der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte, also 2 cm weiter nach vorn als bei der Haltung, die er bei Belastung durch das Gepäck unter Weglassung des letzteren einnahm. Daraus ist ersichtlich, dass unter dem Einfluss des Gepäcks der Rücken etwas eingebogen ist, wodurch der Schwerpunkt des Rumpfes nach rückwärts verlegt wird.

Da bei der Feuerstellung durch das Gepäck der Schwerpunkt beträchtlich nach rückwärts verlegt worden ist, so würde für dieselbe Haltung des Körpers die Schwerlinie um dieselbe Strecke zurückverlegt werden wie der Schwerpunkt und dadurch eine für die Sicherheit gegen den Rückstoss von vorn ungünstige Lage derselben zur Unterstützungsfläche resultiren. Wie wir oben bei der Feuerstellung ohne Gepäck gesehen haben, war dadurch eine erhöhte Sicherheit der Stellung gegeben, dass die Schwerlinie näher der vorderen Grenze als der hinteren Grenze der Unterstützungsfläche dieselbe trifft. Um nun bei der Feuerstellung mit Gepäck dieselbe Sicherheit zu erzielen, ist es nothwendig, dass sich der Mann mehr vorbeugt als im unbepackten Zustande. Ein Vergleich der Fig. 18 mit Fig. 15 zeigt aber, dass die Schwerlinie gleiche Lage zur Unterstützungsfläche in beiden Fällen hat; daraus ist ersichtlich, dass der Mann schon von selbst diese Vorwärtsneigung des Körpers ausgeführt hat.

Die Bedeutung der Lage der Schwerlinie im Verhältniss zur Unterstützungsfläche.

Die Lage der Schwerlinie zur Unterstützungsfläche, wie sie aus den Fussprojectionen zu ersehen ist, giebt nur Aufschluss darüber,

mit welchem Grade der Sicherheit die einzelnen von uns behandelten Stellungen des unbelasteten und belasteten Körpers behaftet sind. Sie lässt aber keinen Schluss zu auf die günstige und ungünstige Lage des Schwerpunktes im Körper. Um ein deutliches Bild von der Lage des Schwerpunktes im Körper selbst für die einzelnen Stellungen zu bekommen, sind auf Tafel XVII die sämmtlichen Schwerpunktslagen bei den verschiedenen Stellungen eingetragen. Da bei unserem lebenden Manne die Mittelpunkte der Hüftgelenke bei den meisten Stellungen 1 cm tiefer und bei den Feuerstellungen sogar 2 cm tiefer lagen als in unserer symmetrischen Figur, so hat man die Z-Coordinaten um 1 resp. 2 cm zu vergrössern, um sie für unsere Zeichnung verwenden zu können. Ausserdem musste in Betracht gezogen werden, dass bei den Feuerstellungen die Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte aus der Frontalebene herausgetreten war, so dass man danach die X- und Y-Coordinaten corrigiren musste. Ueber den Grad der Drehung der Verbindungslinie der Hüftgelenkcentren giebt die Fussprojection Aufschluss. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse erhält man für die auf unsere Normal-Figur von Tafel III bezogenen Coordinaten x'_0, y'_0, z'_0 der Schwerpunkte folgende Werthe:

	x'_0	y'_0	z'_0
1) Normalstellung; Tafel IV	+ 0,2	0	92,7
2) Bequeme Haltung; Tafel V	— 0,8	0	92,3
3) Militärische Stellung, ohne Gepäck; Tafel VI .	+ 0,4	0	92,7
4) Militärische Stellung, ohne Gepäck, bei präsentirtem Gewehr; Tafel VII u. VIII	+ 2,9	+ 0,4	94
5) Feuerstellung, ohne Gepäck; Tafel IX u. X .	+ 7	— 1	99,8
6) Stellung mit vorgehaltenem Gewehr, bei ausgestrecktem rechten Arme; Tafel XI u. XII	+ 7,7	+ 0,9	98
7) Militärische Stellung mit vollem Gepäck und Gewehr über; Tafel XIII u. XIV	— 1,6	— 0,5	98,5
8) Feuerstellung mit vollem Gepäck; Tafel XV u. XVI	+ 1,5	+ 1	101,2

Aus diesen Schwerpunktslagen ist ohne Weiteres ersichtlich, welche Haltung der Mann seinem Körper geben muss, um die Schwerlinie möglichst in die Mitte der Unterstützungsfläche zu bringen, und bei welchen Lagen des Schwerpunktes die Muskeln sich am stärksten

anstrengen müssen, um durch Verbiegung des Körpers dies zu erreichen, ebenso welche Lage der unserer Normalstellung am nächsten kommt.

Scheinbar am ungünstigsten fällt der Schwerpunkt bei der Stellung mit frei heraus gehaltenem Gewehr; annähernd gleich ungünstig scheint die Feuerstellung ohne Gepäck zu sein, sehr günstig gegenüber der letzteren die Feuerstellung mit Gepäck. Denn bei der Feuerstellung ohne Gepäck tritt der Schwerpunkt ganz aus dem Gebiete des Beckens heraus, während er bei der Feuerstellung mit Gepäck senkrecht über die Hüftgelenkköpfe zu liegen kommt. Es ist aber hierbei zweierlei zu beachten. Bei der Feuerstellung ohne Gepäck fällt die Schwerlinie schon von selbst nahezu in die Mitte der Unterstützungsfläche, während bei der Feuerstellung mit Gepäck erst eine Vorwärtsbiegung des Rumpfes nothwendig ist, um dies zu erreichen.

In Bezug auf die Höhenlage des Schwerpunktes sind unter allen Umständen die beiden Feuerlagen am ungünstigsten.

Weitere praktische Consequenzen ergeben sich von selbst aus den Bildern auf Tafel XVII.

Ueber den Einfluss der Biegsamkeit des Rumpfes auf die Lage des Gesammtschwerpunktes.

Da der Rumpf in Folge der Biegsamkeit der Wirbelsäule Beweglichkeit besitzt und somit nicht als starre Masse behandelt werden darf, so kann nicht erwartet werden, dass bei den verschiedenen Stellungen der Schwerpunkt des Rumpfes jedesmal an derselben Stelle liegt, an der wir ihn bei unserem gefrorenen Cadaver gefunden haben, nämlich in der Ebene, welche durch die Mitte des Atlanto-Occipitalgelenkes und die Mittelpunkte der beiden Hüftgelenke bestimmt wird. Bei stärkerer Beugung des Rumpfes nach rückwärts wird der Schwerpunkt zwar annähernd in derselben Höhe bleiben, aber etwas nach rückwärts rücken, bei stärkerer Beugung nach vorn dagegen nach vorn. Es muss daher diesen Verhältnissen Rechnung getragen werden. Aus Tafel IV und VI, also bei unserer Normalstellung des Lebenden und bei der militärischen Stellung, ist schon durch die blosse Betrachtung der Bilder zu erkennen, dass der Schwerpunkt des

Rumpfes vor die oben erwähnte Ebene zu liegen kommt. Ein Vergleich der beiden Photographien mit der Gestalt des Rumpfes auf Tafel III lehrt aber ferner, dass der Schwerpunkt in Folge der stärkeren Rückwärtsbeugung des Rumpfes auf Tafel IV und VI im Körper nicht so weit vorn liegen kann als auf Tafel III. Nimmt man den Schwerpunkt des Rumpfes in beiden Figuren in der oben erwähnten Ebene an, wie wir es bei unserer Berechnung gethan haben, so entfernt man sich dadurch etwas nach hinten von der wahren Lage desselben. Nimmt man dagegen den Schwerpunkt des Rumpfes in diesen Figuren an derselben Stelle im Innern desselben an, an welcher wir ihn bei der directen Messung gefunden hatten, so entfernt man sich dadurch etwas zu weit nach vorn von der wahren Lage desselben. Auf den Tafeln IV u. VI zeigt unter allen unseren Figuren der Schwerpunkt die stärkste Abweichung von der Ebene durch das Atlanto-Occipitalgelenk und die Hüftgelenke. Die Entfernung der Stelle, an der wir den Schwerpunkt am Cadaver gefunden hatten, von der oben erwähnten Ebene beträgt in diesem Falle 2,5 cm. Es bleibt also nach den obigen Betrachtungen ein Spielraum von 2,5 cm für die Lage des Rumpfschwerpunktes. Eine Verrückung desselben um 1 cm nach vorn oder hinten würde aber eine gleichzeitige Verrückung des Schwerpunktes des ganzen Körpers um $\frac{25060}{58700} = 0{,}427$ cm nach vorn oder hinten beim unbelasteten Körper bedingen, beim mit Gewehr oder mit Gewehr und Gepäck belasteten Körper aber nur eine Verrückung von 0,395 cm oder 0,306 cm. Dem grössten Spielraum von 2,5 cm für den Rumpfschwerpunkt auf Tafel IV und VI entspricht also nur ein Spielraum von 1,07 cm für den Gesammtschwerpunkt des Körpers. Nehmen wir z. B. an, dass er in der Mitte des Spielraums liegt, so entfernt sich unsere X-Coordinate des Schwerpunktes nur um 0,5 cm von dem wahren Werthe, d. h. der Schwerpunkt fällt in der That nur 0,5 cm weiter nach vorn, als wir ihn berechnet haben. Unsere Annahme, dass der Schwerpunkt des Rumpfes immer in der Ebene zwischen Atlanto-Occipitalgelenk und den Hüftgelenken liegt, führt also für unsere Stellungen des Körpers zu keinen beträchtlichen Fehlern.

Da der Hüftgelenkkopf des erwachsenen Mannes einen durchschnittlichen Durchmesser von 5 cm hat, so kann der Schwerpunkt des

Rumpfes beträchtlich weiter nach vorn und hinten rücken, bis circa 2 cm, ohne dass dadurch die Frontalebene, welche durch das Atlanto-Occipitalgelenk und den Schwerpunkt des Rumpfes gelegt wird, ausserhalb der Hüftgelenke zu liegen kommt.

Einfluss der Neigung der Bodenfäche auf die Haltung des Körpers.

Um zu prüfen, in wie weit die Neigung der Bodenfläche einen Einfluss auf die Körperhaltung ausübt, und wie das Gepäck des Soldaten auf einer solchen die Haltung des Mannes beeinflusst, wurde ein starkes, einen halben Meter breites, zwei Meter langes Holzbrett genommen und dieses durch eine Winde ganz allmählich in verschiedene Neigungen gebracht, deren Winkel durch einen angebrachten Transporteur mit Senkelfaden leicht abgelesen werden konnten.

Bei einer Neigung des Brettes von 32°, also bei einer steilen Bodenfläche, konnte der mit dem Gepäck vorschriftsmässig belastete Soldat noch eben stehen, aber keinen Schritt vorwärts mehr auf der ansteigenden Ebene machen. Er hielt dabei seinen Körper stark vorwärts gebeugt. Ohne Gepäck, aber auch wenn er den Tornister auf den Kopf und den Leibriemen mit den vorderen Patronentaschen um den Hals legte, konnte er dagegen auf dieser geneigten Ebene weiter vorwärtsschreiten.

Da aber bei diesem Versuche trotz starker Kreideauftragung auf Brett und Strumpf (der Mann hatte die Stiefeln ausgezogen) ein Abrutschen der Füsse schliesslich eintrat und dadurch der Versuch complicirt wurde, so ward eine zweite Versuchsreihe eingeleitet, bei welcher das Abrutschen der Füsse völlig ausgeschlossen wurde und nur die Neigung der Ebene in Frage kam. Eine schmale Leiste, die quer über das Brett genagelt ward, vor welcher der Soldat mit den Absätzen seiner Stiefeln zu stehen kam, verhinderte das Abrutschen vollständig. Es wurden drei junge Soldaten zum Versuche benutzt.

A. kann sich bei stark vorwärtsgebeugtem Körper mit Gepäck auf der Ebene noch halten bis zu 41½° Neigung der Ebene; ohne Gepäck bis zu 47°; wenn er den Tornister vorn auf der Brust trägt bis zu 50°.

B. mit Gepäck bis zu 41° Neigung; ohne Gepäck bis zu 47°—49°; mit Gepäck vorn auf der Brust bis zu 52°.

C. mit Gepäck bis 42°; ohne Gepäck bis 48°; mit Gepäck vorn auf der Brust bis zu 48°.

Es liegt nicht in der Aufgabe unserer Untersuchung, diesen Gegenstand weiter bis ins Einzelne zu verfolgen. Es wird vielmehr Sache der Militärbehörden sein, darüber Untersuchungen anzustellen; namentlich aber auf der breiten Bahn empirischer Behandlung festzustellen, in wie weit das neue Gepäck die Bewegung des Soldaten auf unebenem Boden hindert.

In gleicher Weise wie die Verschiebung der Schwerpunktslage nach hinten durch das Gepäck eine Vorbiegung des Rumpfes nothwendig macht, um den Schwerpunkt über die Mitte der Unterstützungsfläche zu bringen und dadurch der aufrechten Stellung eine grössere Sicherheit zu verleihen, wird beim Stande auf einer geneigten Ebene die Belastung des Körpers am unteren Theile des Rückens Stellungsveränderungen erzeugen müssen; der Körper wird sich vorbeugen, um nicht hinten überzufallen. Diese Biegung wird um so stärker ausfallen müssen, je steiler die Ebene ansteigt, und je weiter nach rückwärts der Schwerpunkt verlegt ist. Diese Beugung ist aber nur ausführbar in den Fussgelenken, den Hüftgelenken und in der Wirbelsäule. Individuen mit steifen Gelenken, also überhaupt ältere Individuen, werden demnach mehr behindert sein beim Betreten gebirgigen Terrains, als junge Leute mit biegsamen Gelenken. Und es wird begreiflich, dass eine Verlegung der Last auf die oberen Abschnitte des Rückens diese Correctur der Schwerpunktslage durch die Körperbiegung wesentlich erleichtern muss, weil hier die Summe der Wirbelgelenke die Biegsamkeit mit vergrössert.

Es ist daher nicht blos Zufall oder Mode, dass, während in der norddeutschen Ebene die Lasten auf der Mitte des Rückens getragen werden, in Süddeutschland und weiter abwärts in den Alpen und bis nach Italien hinein alles Schwere auf den Kopf verlegt wird, möglichst hoch oben am Körper zur Verpackung kommt. Bereits an der Mainlinie kann man beobachten, wie die Marktfrauen ihre Körbe auf dem Kopfe tragen, im Berner Oberland, dass die centnerschweren Käse-

scheiben möglichst hoch oben über dem Rücken ihren Platz finden, und dass die Mädchen auf Capri schwerste Koffer und Bausteinlasten den steilen Weg nach Anacapri auf dem Kopfe hinauftragen.

Man wird auf steilen Wegen unter starker Belastung überhaupt schlecht gehen und vorsichtiger balanciren müssen als auf der Ebene, namentlich aber bei vorzugsweiser Belastung des Kreuzbeins sehr leicht nach hinten überfallen, wenn man auf steilem Boden marschirt, beim Uebersprungen eines Grabens eine steile Böschung trifft, überhaupt in stark unebenem Terrain sich bewegen muss.

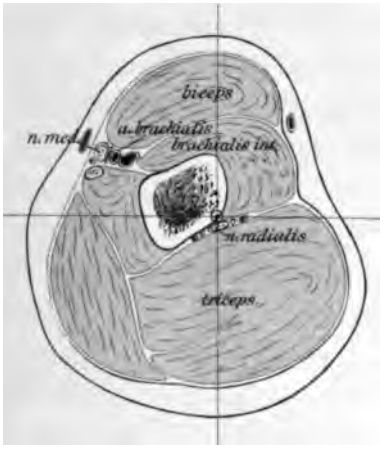
Es kam uns nur darauf an, auf eine weitere praktische Consequenz der Untersuchung über den Schwerpunkt hinzuweisen, ohne in ein Fach übergreifen zu wollen, in welchem wir nicht competent sind.

Berichtigungen.

Es muss heissen:

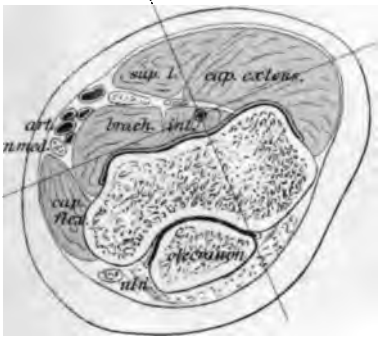
auf pag. 609, Z. 16 v. o.: $y_{3,6} = +8{,}7$ cm und: $y'_{3,6} = -8{,}7$ cm
auf pag. 609, Z. 17 v. o.: $x_{3,6} = +0{,}6$ cm und: $x'_{3,6} = +0{,}6$ cm
auf pag. 610, Z. 2 v. o.: $y_{4,6} = +9{,}0$ cm und: $y'_{4,6} = -9{,}0$ cm
auf pag. 610, Z. 3 v. o.: $x_{4,6} = +1{,}6$ cm und: $x'_{4,6} = +1{,}7$ cm
auf pag. 614, Z. 21 v. o.: $x_{3,6} = +0{,}6$ cm
auf pag. 614, Z. 2 v. u.: $y_{4,6} = \pm 9{,}0$ cm
auf pag. 614, Z. 1 v. u.: $x_{4,6} = +1{,}6$ cm.

1.



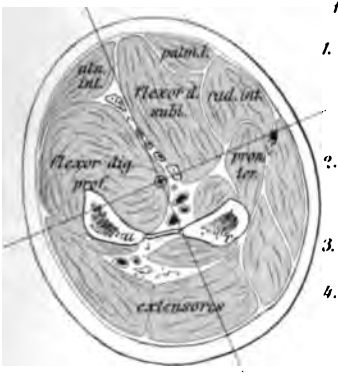
Schwerpunkt des Oberarms allein.

2.



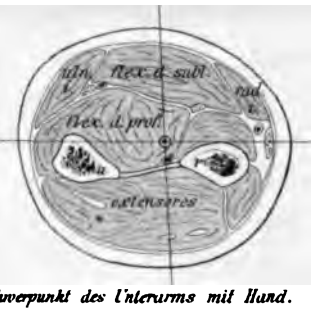
Schwerpunkt des ganzen Arms.

3.



Schwerpunkt des Unterarms allein.

4.



Schwerpunkt des Unterarms mit Hand.

5.

Schwerpunkt der Hand.

Schnittflächen
für den Schwerpunkt:

1. des Oberarms allein. 1

2. des ganzen Arms. 2

3. des Unterarms allein. 3

4. des Unterarms u. Hand. 4

5. der Hand. 5

Bezeichnung des Schwerpunktes.

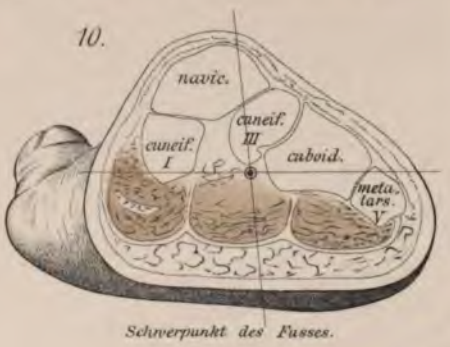
Die Schnittflächen mit den eingetragenen Schwerpunkten für die rechte obere Extremität von Cadaver IV.

zu pag. 502.

1/2 der natürlichen Grösse.

Schwerpunkt des Oberschenkels allein.

Schwerpunkt des Unterschenkels mit Fuss.



Schwerpunkt des Fusses.

Schwerpunkt des ganzen Beins.

Schwerpunkt des Unterschenkels allein.

Schnittflächen

für den Schwerpunkt:

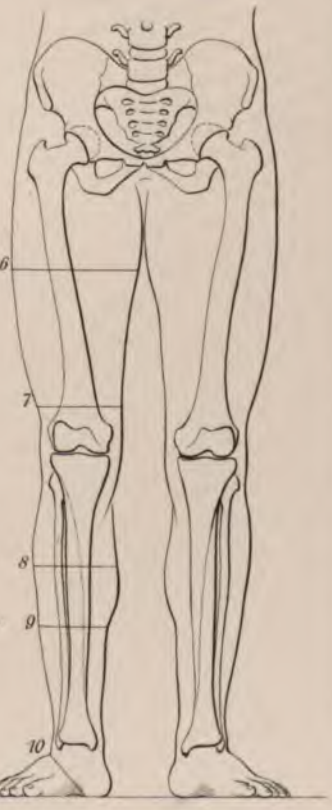
6. des Oberschenkels allein 6

7. des ganzen Beins 7

8. des Unterschenkels allein 8

9. des Unterschenkels und Fuss 9

10. des Fusses 10



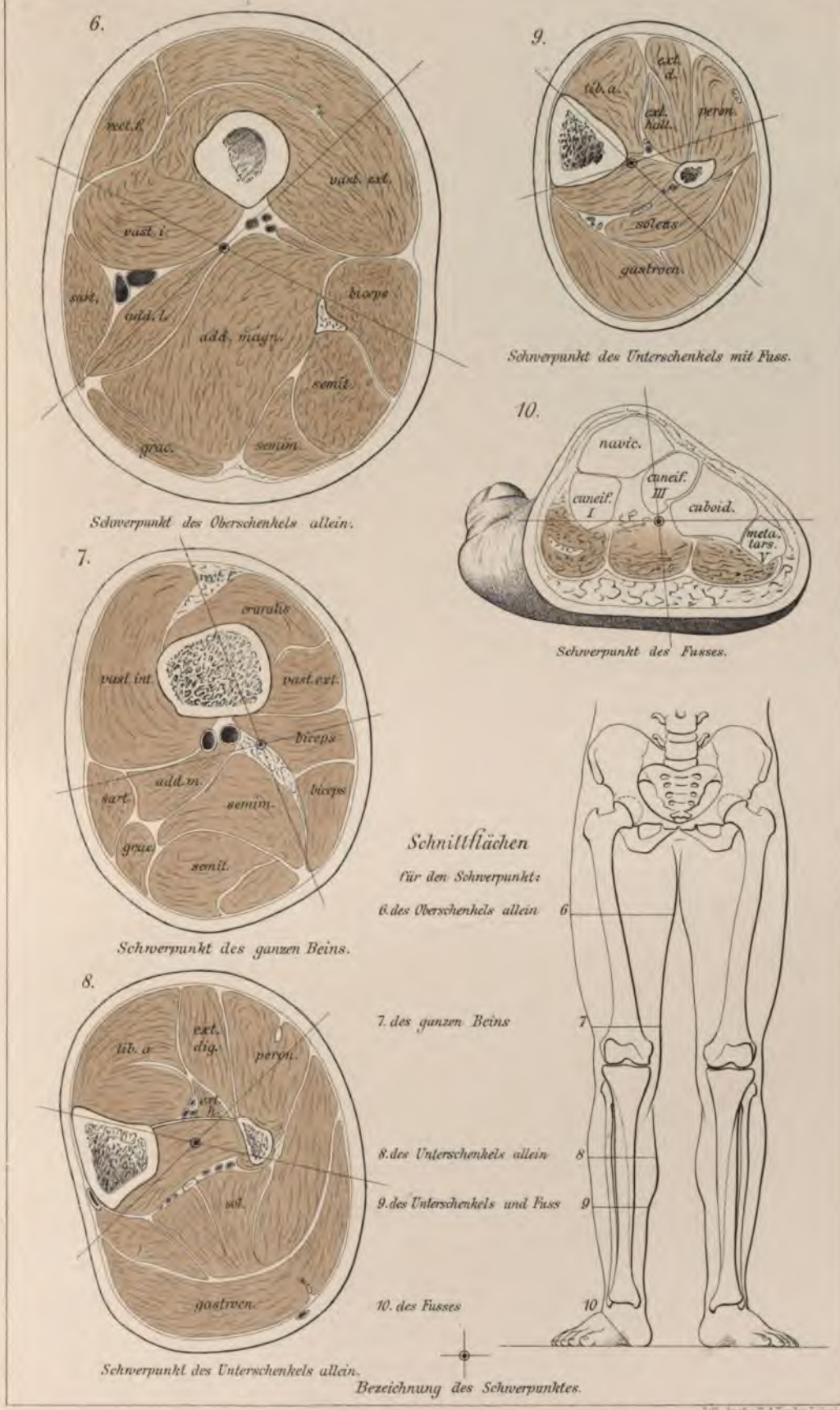
Bezeichnung des Schwerpunktes.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

Die Schnittflächen mit den eingetragenen Schwerpunkten für die rechte untere Extremität von Cadaver IV.

zu pag. 393 u. 394.

1/2 der natürlichen Grösse.



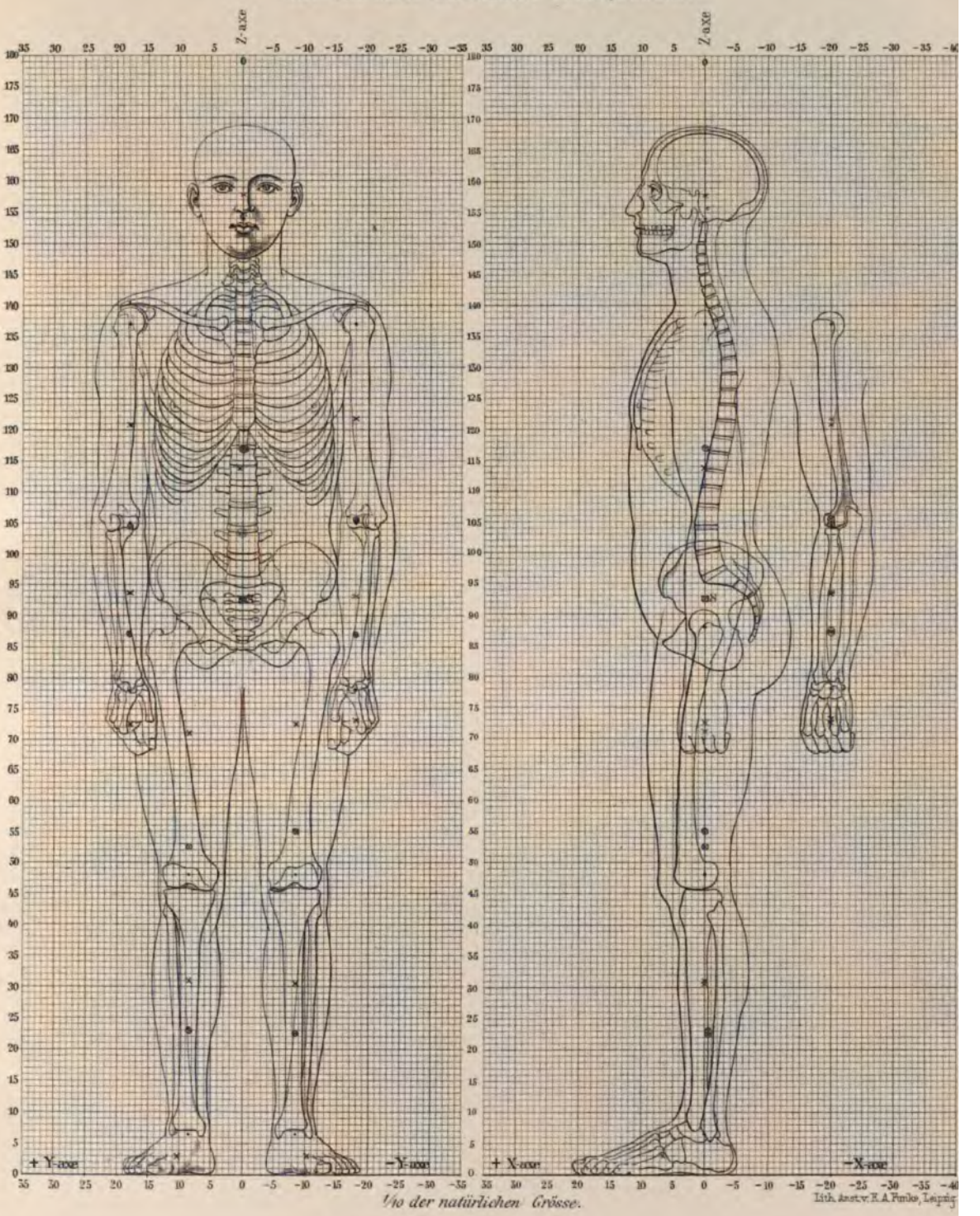
Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

Die Schnittflächen mit den eingetragenen Schwerpunkten für die rechte untere Extremität von Cadaver IV.

zu pag. 593 u. 594.

1/2 der natürlichen Grösse.

Das Schema für die Normalstellung des menschlichen Körpers mit den direct bestimmten Schwerpunkten.



1/10 der natürlichen Grösse.

Lith. Anst. v. R. A. Funke, Leipzig

× *Schwerpunkt eines Gliedes.*

⊙ *Schwerpunkt eines Gliedersystems.*

⊠S *Schwerpunkt des ganzen Körpers.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die Normal-Stellung. (Profilansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf und Händen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die bequeme Haltung. (*Profilansicht.*)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf und Händen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die militärische Stellung ohne Gepäck. *(Profilansicht.)*

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf und Händen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die militär. Stellung ohne Gepäck bei präsentirtem Gewehr.
(Profilansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Gewehr.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Gewehr.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die militär. Stellung ohne Gepäck bei präsentirtem Gewehr.
(Frontalansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Gewehr.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Gewehr.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die Feuerstellung ohne Gepäck. (Profilansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Gewehr.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Gewehr.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die Feuerstellung ohne Gepäck. (Frontalansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
⊡ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Gewehr.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Gewehr.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

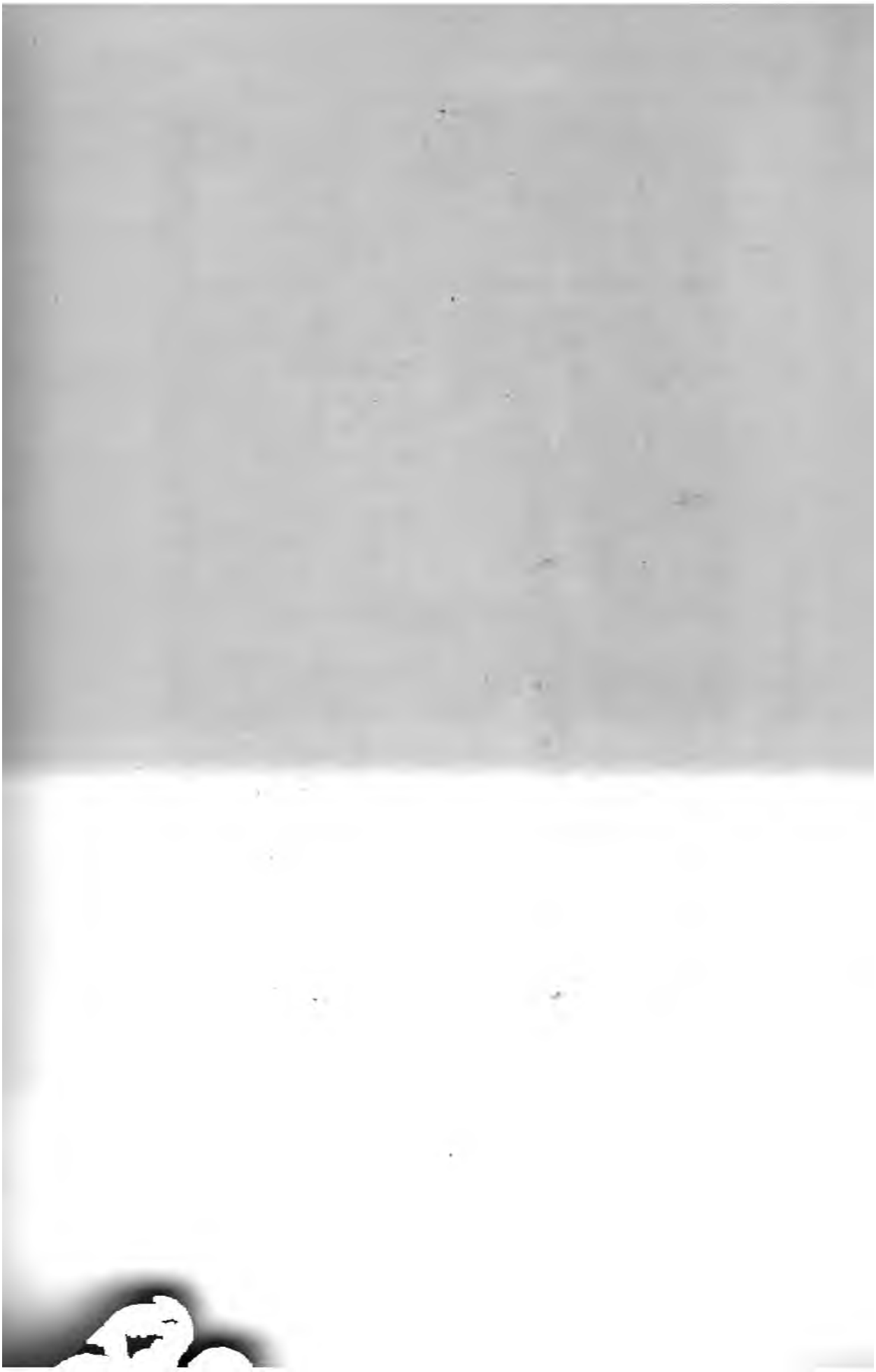
Die Stellung mit vorgehaltenem Gewehr bei ausgestrecktem rechten Arm. *(Profilansicht.)*

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Gewehr.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Gewehr.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die militär. Stellung mit vollem Gepäck und Gewehr über.
(Profilansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Ausrüstungsgegenständen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Ausrüstungsgegenständen.*



$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die militär. Stellung mit vollem Gepäck und Gewehr über.
(Frontalansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Ausrüstungsgegenständen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Ausrüstungsgegenständen.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die Feuerstellung mit vollem Gepäck. (Profilansicht.)

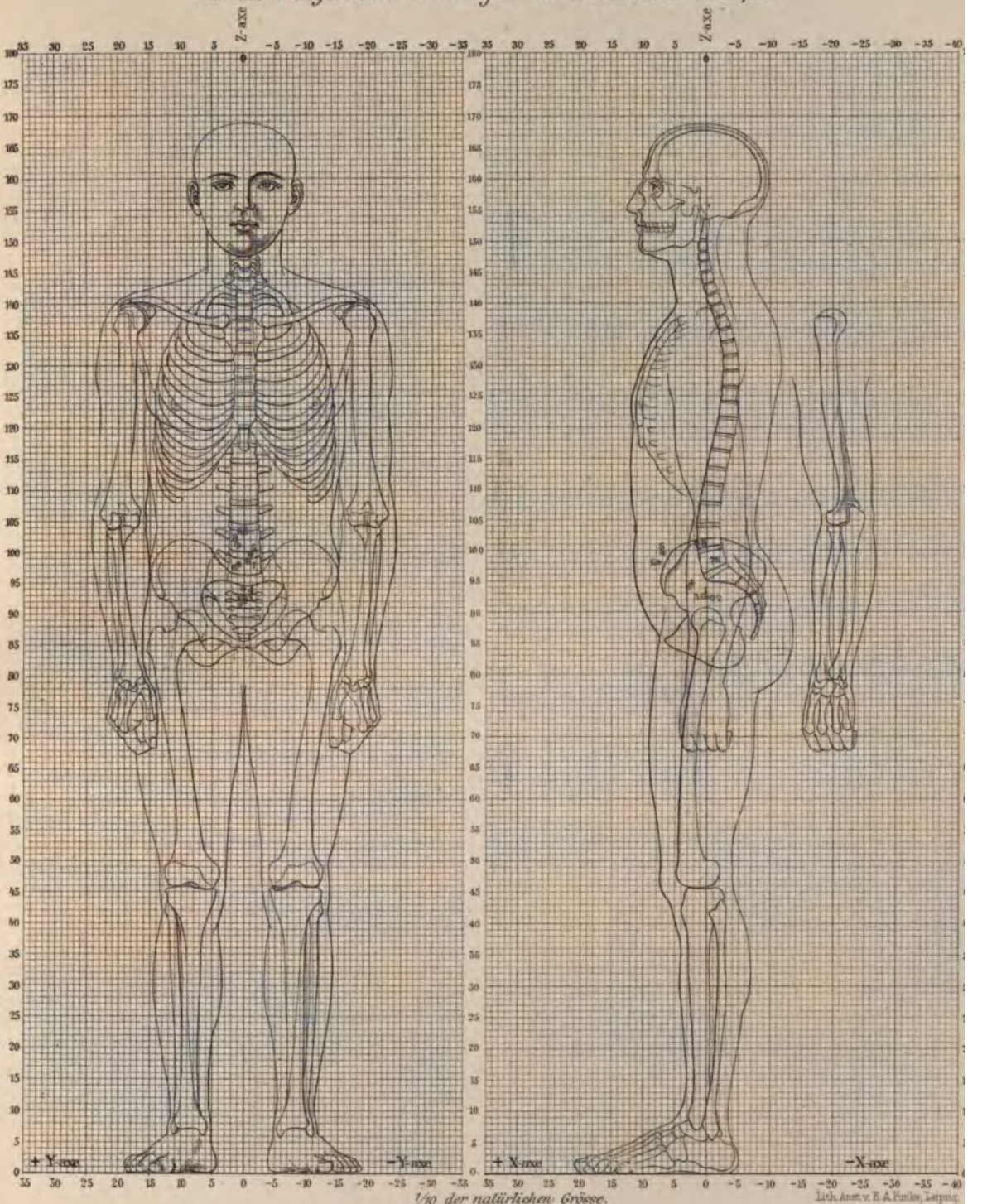
· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
⊡ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Ausrüstungsgegenständen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Ausrüstungsgegenständen.*

$^1/_{10}$ *der natürlichen Grösse.*

Die Feuerstellung mit vollem Gepäck. (Frontalansicht.)

· *Projectionen der Gelenkmittelpunkte.*
▫ *Projectionen der Schwerpunkte von Kopf, Händen und Ausrüstungsgegenständen.*
⊡S *Projection des Schwerpunktes des ganzen Körpers mit Ausrüstungsgegenständen.*

Die Schwerpunktslagen
für die 8 abgebildeten Stellungen des menschlichen Körpers.



1/10 der natürlichen Grösse.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

8 Schwerpunktslagen des Gesammtkörpers für

1. Die Normalstellung, Tab. IV.
2. Die bequeme Haltung, Tab. V.
3. Die militärische Stellung ohne Gepäck, Tab. VI.
4. Die militärische Stellung ohne Gepäck bei präsentirtem Gewehr, Tab. VII u. VIII.
5. Die Feuerstellung ohne Gepäck, Tab. IX u. X.
6. Die Stellung mit vorgehaltenem Gewehr bei ausgestrecktem rechten Arme, Tab. XI u. XII.
7. Die militärische Stellung mit vollem Gepäck und Gewehr über, Tab. XIII u. XIV
8. Die Feuerstellung mit vollem Gepäck, Tab. XV u. XVI.

DIE FORMENTWICKELUNG

DES

MENSCHLICHEN VORDERHIRNS

VOM ENDE DES ERSTEN BIS ZUM BEGINN
DES DRITTEN MONATS

VON

WILHELM HIS,
MITGLIED DER KÖNIGL. SÄCHS. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der
Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° VIII.

MIT EINER TAFEL.

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1889.

Vorgetragen in der Sitzung vom 1. Juli 1889.
Das Manuscript eingeliefert am 9. September 1889.
Der Druck beendet am 5. November 1889.

DIE FORMENTWICKELUNG

DES

MENSCHLICHEN VORDERHIRNS

VOM ENDE DES ERSTEN BIS ZUM BEGINN DES DRITTEN MONATS

VON

WILHELM HIS.

MIT EINER TAFEL.

Die Untersuchungen, über welche die nachfolgende Abhandlung berichtet, betrachte ich als Vorarbeit zu einer eingehenderen Verfolgung der sich entwickelnden Gehirnorganisation; der Gegenstand, den die Arbeit behandelt, ist weder für die Wissenschaft, noch für mich selber ein neuer. Seit den classischen Arbeiten von Döllinger, von Tiedemann und von J. F. Meckel, d. h. seit Anfang unseres Jahrhunderts, hat eine lange Reihe vorzüglicher Forscher der Gehirnentwickelung ihre Aufmerksamkeit zugewendet, und der erworbene Schatz von thatsächlichen Kenntnissen ist ein sehr werthvoller. Und doch bleibt, wie ich glaube, gerade für die in diesem Aufsatz behandelte Periode sehr viel zu thun übrig, denn es handelt sich darum, die Entwickelung der inneren Organisation festzustellen, zu welcher gerade im Verlaufe des zweiten und dritten Monats der hauptsächlichste Grund gelegt wird.

Ich selber habe mich während der Jahre 1868—70 lebhaft mit der Gehirnentwickelung beschäftigt und in jener Zeit manche foetale Gehirne durchpräparirt und durchphotographirt. Kurze Mittheilungen über meine damaligen Ergebnisse finden sich in einem kleinen Aufsatz in den Verhandlungen der Basler naturf. Gesellschaft vom Jahre 1869 »über die Gliederung des Gehirns«, sowie in den Briefen 9 und 10 »über unsere Körperform«. Der Mechanismus der Markröhrenumbildung und die Scheidung von durchgreifenden Längszonen sind in jenen älteren Publicationen zur Sprache gekommen, und einzelne der dort erörterten Fragen werde ich auch diesmal wieder aufzunehmen haben. Ich habe damals die Arbeit abgebrochen, weil ich das Bedürfniss nach einer ausgiebigen Erweiterung meines Materiales und vor Allem nach reichlichen Reihen von embryonalen

Schnittpräparaten gefühlt hatte. Allmählich habe ich in letzterer Hinsicht Mancherlei zusammengebracht, obwohl lange nicht so viel, als ich für wünschbar erachte. In diesen zwei Jahrzehnten haben aber auch die Methoden der Schnittführung und der Schnittbearbeitung erheblich an Ausbildung gewonnen. Sowohl von der Photographie von Schnittreihen, als von der projectiven Construction und der Plattenmodellirung habe ich diesmal reichlichen Gebrauch gemacht. Letztere beiden Methoden ergänzen und controlliren sich wechselseitig, und ich möchte keine derselben völlig entbehren. Die Plattenmodellirung ist neuerdings durch BORN dadurch noch allgemeiner zugänglich gemacht worden, dass dieser Autor eine fabrikmässige Herstellung von mit Papier überzogenen Wachsplatten angeregt hat. Die bei Dr. GRÜBLER in beliebigen Dicken erhältlichen Platten erlauben es nunmehr, ohne jede weitere Umständlichkeit die Arbeit an die Hand zu nehmen.

Die in nachfolgender Arbeit gestellten Aufgaben beziehen sich vor Allem auf die Topographie der primären Anlagen. Ich habe gesucht, in der Wand des ursprünglichen Rohres für einen jeden der späteren Hauptabschnitte des Vorderhirns die zugehörige Stelle aufzufinden. Eine auf die frühen Anfänge zurückgreifende Topographie giebt Einsicht in die ursprünglichen Beziehungen der einzelnen Hirntheile zu einander. Von dieser Einsicht ausgehend, kann man die nachfolgenden Verschiebungen der Theile verfolgen, und wenn man dabei dem zeitlichen Ineinandergreifen der einzelnen Umlagerungen Rechnung trägt, muss man voraussichtlich erkennen, wo und wann sich die Strassen für die von den verschiedenen Zellenbezirken ausgehenden Faserzüge bilden, und wie diese letzteren nach und nach sich ausbreiten.

Bei Anlass der Riechlappenentwickelung konnte ich es nicht unterlassen, auch die histologische Frage von der Herkunft des Riechnerven zu behandeln; im Uebrigen habe ich es vermieden, schon jetzt auf Fragen der feineren Organisation einzugehen.

Auch die mechanischen Gesichtspunkte, welche sich beim Studium der Gehirnentwickelung auf Schritt und Tritt unwillkürlich aufdrängen, habe ich diesmal absichtlich nicht in den Vordergrund gestellt. Die Generation wird schon noch heranwachsen, welche diesen Gesichtspunkten ihr Recht zu Theil werden lässt.

Die Axenkrümmungen des Mittel- und Vorderhirns.

Rautenhirn- und Grosshirnarm begegnen sich am Mittelhirn, und im Profil gesehen zeigt sich die Uebergangslinie doppelt gebrochen. Danach unterscheiden wir zwischen einer hinteren und einer vor-

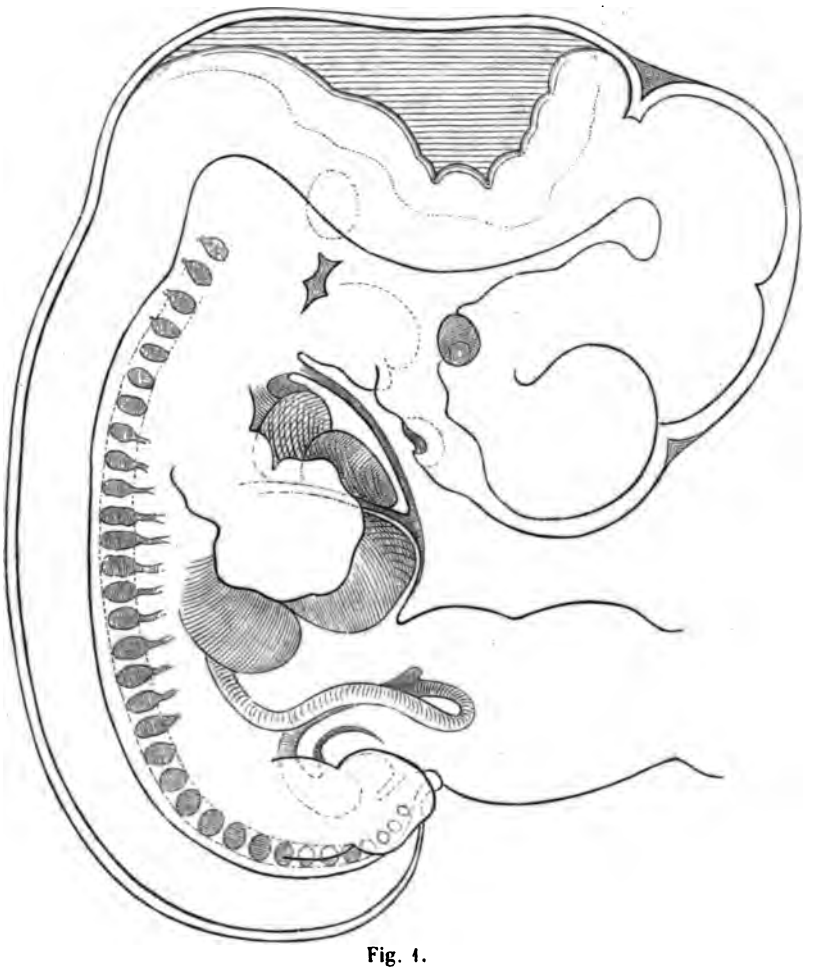


Fig. 1.

Embryo (*Rm*) von 12,4 mm NL. Unverletzt in Nelkenöl aufgehellt. Vergr. 10.

deren Scheitelkrümmung[1]). Jene liegt am hinteren Rande des Mittelhirns, diese unter dessen vorderem Rande, und sie schiebt sich noch eine Strecke weit unter das Zwischenhirn vor. Der hinteren

1) Die Nothwendigkeit dieser Unterscheidung habe ich s. Z. betont in der Monogr. der Hühnchenunters. Nr. 1, S. 129 und in dem Aufsatz über die Gehirngliederung, Verh. d. Basler naturf. Ges. vom 24. Febr. 1869, Nr. 2, Bd. 4, S. 330, sowie in den Briefen über unsere Körperform Nr. 3, S. 94.

Krümmung entspricht die Ausweitung des Mittelhirns, der vorderen die maximale Verbreiterung des Zwischenhirns im Bereich seiner hinteren Hälfte. In der Strecke von der einen zur andern Krümmung ist der Boden des Hirnrohres abgeflacht und nach einwärts vorgetrieben.

Beide Scheitelkrümmungen des Gehirnrohres sind ventralwärts concav, und dasselbe gilt von einer dritten, am Boden des Zwischenhirns liegenden Krümmung, die ich s. Z. als Hakenkrümmung bezeichnet hatte. Ich gebe zur Erläuterung die Zeichnung eines menschlichen Embryo von 12 mm NL., welchen ich mit Nelkenöl durchsichtig gemacht hatte. Hier sind sowohl die beiden Krümmungen am Boden des Mittelhirns erkennbar, als die Einbiegung der Wand am Boden des Zwischenhirns. Letztere liegt zwischen dem Processus mammillaris und dem Trichterfortsatz, von ihr aus erstreckt sich beiderseits eine Furche nach vorn, welche hinter dem Stiel der Augenblase ausläuft, ein Verhalten, das mit der Entstehungsweise der letzteren in Beziehung steht.

Beim Hühnchen vom 3. Tage kann man die drei Krümmungen schon durch die Körperdecken hindurch leicht constatiren, ebenso an Haifischembryonen; vom Embryo der Schildkröte zeigt eine Abbildung Rathke's die drei Krümmungen[1]). Je kürzer die Hirnbasis, um so näher rücken dieselben aneinander, indessen findet sich selbst bei Batrachiern, bei denen die Strecke vom Isthmus bis zum Infundibulum sehr kurz ist, laut Goette's Zeichnungen[2]) eine deutliche Ausprägung aller drei Krümmungen. Kaum andeutungsweise finde ich dieselben bei Ammocoeteslarven von 11 mm, wogegen bei den Knochenfischen mit ihrem langen Mittelhirn die hintere und die vordere Scheitelkrümmung durch einen weiten Abstand von einander geschieden sind.

Von den drei Krümmungen kann die eine auf Kosten der anderen ein Uebergewicht bekommen. Sehr bemerkenswerth ist dies gerade am Knochenfischhirn, bei welchem die gesammte Vorderhirnbasis stark zurückgebogen und nach Art eines gekrümmten Hakens unter dem Boden des Mittelhirns gelagert erscheint. An der Umbiegungsstelle treten die grossen Augenblasen hervor und vor denselben liegen die verhältnissmässig kleinen Hemisphärenanlagen. Die

1) Rathke, Nr. 4, Taf. I, Fig. 9.
2) Goette, Nr. 7, Taf. II, Fig. 38.

betreffende Krümmung des embryonalen Fischhirns entspricht der vorderen Scheitelkrümmung, mit deren ausgiebiger Ausbildung die eigentliche Hakenkrümmung sich beinahe völlig ausgeglichen hat.

Die primitive Längsgliederung des Mittel- und Vorderhirns.

Sowohl am Rückenmark, als an der Medulla oblongata scheidet sich das Rohr in zwei dicke Seitenwandungen, welche dorsal- und ventralwärts je durch eine dünne Verbindungsplatte unter sich zusammenhängen. Jede der beiden Seitenwandungen zerfällt in eine ventrale und eine dorsale Hälfte, für welche ich die Bezeichnungen Grundplatte und Flügelplatte vorgeschlagen habe. Diese typische Gliederung erstreckt sich auch auf die vordere Gehirnhälfte. Auch an dieser zeigen Schnitte, welche annähernd senkrecht zur Längsaxe geführt sind, in frühen Entwickelungsperioden zwei dicke, mehr oder minder deutlich gegliederte Seitenwandungen, welche längs des Bodens und der Decke durch verdünnte Platten mit einander verbunden sind. Auf die zum Theil ziemlich verwickelten Schicksale der Boden- und der Deckplatte werde ich später eingehen. An den Seitenwandungen hat die ventrale Hälfte der Wand im Allgemeinen die Neigung, sich nach einwärts einzubiegen, auch pflegt sie dicker zu sein, als die dorsale Hälfte, welche letztere sich in der Regel nach Aussen hin vorwölbt[1]). (Taf. I, Fig. 3.)

Durch die Krümmungen, welche das Hirnrohr erfährt, verschieben sich die zusammengehörigen Wandbestandtheile in mehr oder minder ausgiebiger Weise gegen einander. Will man daher klare Anschauungen von der Anordnung der einzelnen Längszonen gewinnen, so muss man bei höheren Wirbelthieren auf frühe Stufen zurückgreifen, oder unter den niedrig stehenden solche aussuchen, bei welchen die Sachlage noch einfach ist. So erscheint das Gehirn von Ammocoetes sehr übersichtlich angelegt, indem seine Axenkrümmungen wenig

1) Von den sogen. Querschnitten des Gehirns werden wegen der Axenbiegungen des Rohres immer nur wenige den Namen Querschnitt verdienen. Meistens treffen die Schnitte die Axe schräg und sie können sogar nur die Decke oder nur den Boden streifen. Bei Beurtheilung der Schnitte ist hierauf genau zu achten und deren Richtung mit Hülfe der Profilconstruction jeweilen festzustellen.

entwickelt sind. Ich reproducire eine Profilfigur von WIEDERSHEIM[1]: Nur der Saccus vasculosus ist etwas zurückgebogen, der mit der Hypophyse verbundene Trichterfortsatz sieht einfach nach abwärts.

Fig. 2.

Gehirn von Ammocoetes nach WIEDERSHEIM. Die ventrale Hälfte des Rohres ist durch Längsschraffirung ausgezeichnet, die Hypophyse ist punktirt angegeben.

In einer wenig gebogenen Reihe folgen sich hinter einander die aus der Flügelplatte hervorgegangenen Auftreibungen des dorsalen Nach- und Hinterhirns, des Mittelhirns, des Zwischenhirns und die Hemisphären mit den Riechlappen. Darunter liegen die zugehörigen Abschnitte der Grundplatte, welche ich an der Figur durch Schraffirung ausgezeichnet habe. Die Furche, welche die dorsalen Abschnitte des Mittel- und Vorderhirns von den ventralen trennt, läuft dicht vor dem Chiasma aus.

Vergleichen wir damit das Gehirn eines Lachsembryo von 20 mm L. Die Gehirnaxe ist an zwei Stellen stark geknickt, zwischen Nach- und Hinterhirn und an der vorderen Grenze des Mittel-

Fig. 3.

Seitenansicht vom Hirnmodell eines Lachsembryo von 2 cm. Die ventrale Hälfte des Rohres ist längsschraffirt. Die Epiphyse und der Hemisphärenmantel sind nicht dargestellt.

hirns. Infolge der starken vorderen Krümmung ist ein guter Theil des Vorderhirns unter das Mittelhirn gerückt: ausser dem Trichter haben wir hier die beiden unteren Hirnlappen, als der Grundplatte des Vorderhirns angehörig. Der Flügelplattenantheil des eigent-

1) WIEDERSHEIM, Grundriss der vergl. Anatomie. 1888. S. 152.

lichen Zwischenhirns ist schwach entwickelt und zwischen dem Lobus opticus und den Hemisphären eingeklemmt. Cerebellum, Tectum, Lobi optici und Hemisphären sind die Producte der Flügelplatte, und auch hier schneiden das Chiasma und die Tractus optici zwischen der ventralen und dorsalen Hälfte der Wand durch. Dasselbe gilt, wie sich aus den Zeichnungen von Rathke [1]) ergiebt, für das Gehirn der Reptilienembryonen (Coluber natrix und Krokodil).

Bei den oben als Beispiele gewählten Gehirnformen ist es unschwer zu constatiren, dass die Gliederung der Vorderhirnwand in eine dorsale und eine ventrale Hälfte, oder in einen Grund- und einen Flügelplattenantheil durchgreift. Die vordere Grenze beider Abtheilungen fällt vor den Ort des Chiasma, und der Tractus opticus, indem er eine Strecke weit längs der Grenze beider Abtheilungen verläuft, verhält sich ähnlich, wie die aufsteigenden Wurzeln sensibler Nerven [2]).

Die besondere Complication des Vorderhirngebietes liegt in der Bildung und Ablösung der Augenblasen. Aus der Wand des Rohres wird ein Stück herausgeschnitten, und es ist zunächst zu entscheiden, woher der zur Bildung der Augenblasen verwendete Substanzstreifen stammt [3]). Der Hauptantheil der Augenblase, vorweg jeden-

---

1) Man vergleiche Rathke Nr. 5, Taf. VI, Fig. 3, 9 u. 15 u. Nr. 6, Taf. I, Fig. 8.

2) Neuerdings erklärt Keibel (Nr. 8, S. 371), dass das Ende der basilaren Gehirnaxe im Chiasma zu suchen sei. Er beruft sich dabei auf die Vorgeschichte der Augenblase bei Säugern, allein ich vermisse eine Angabe darüber, wie er vor Schluss der Medullarplatte den Ort des Chiasma bestimmt. Der Vorwurf, den Keibel einer meiner Figuren (Nr. 9, Fig. 13) macht, sie verlege im Widerspruch zum Text das Chiasma an die primäre Basis, beruht auf einem Missverständniss. Wie mir scheint, so hat Keibel die Stelle, wo die eingezeichneten Richtungslinien zusammentreffen, für den Ort des Chiasma gehalten. In meinem nachfolgenden Text werden die bezüglichen Verhältnisse eingehend besprochen, und so kann ich eine Discussion an dieser Stelle vermeiden. Ich möchte nur ausdrücklich hervorheben, dass der embryonale Trichter oder das, was ich Trichterfortsatz zu nennen pflege, mehr umfasst, als das definitive Infundibulum. Dieses entsteht als besondere Hervortreibung an der hinteren Ecke des Trichterfortsatzes in verhältnissmässig sehr später Zeit, das Ende der Hirnaxe verlege ich allerdings an diese hintere Ecke des Trichterfortsatzes.

3) Im Aufsatz »über die Gliederung des Gehirns« S. 337 habe ich diese Frage bereits einmal erörtert.

falls der gesammte Retinalantheil, ist der Grundplatte des Vorderhirns entnommen. Zweifelhaft scheint mir nur, ob das Pigmentblatt der Augenblase noch ein Stück weit ins Gebiet der Flügelplatte übergreift. Der morphologischen Ableitung nach entspricht somit die Retina den Vorderhörnern der grauen Rückenmarksubstanz und den motorischen Kerngebieten des Hinter- und Mittelhirns. In erster Linie gewinnt man diese Ueberzeugung aus dem Studium von geeigneten Querschnitten oder von Modellen (Taf. I, Fig. 3). Man kann sie aber auch auf andere Weise begründen:

Die Augenblasen entstehen, wie ich dies anderweitig dargethan habe, als Biegungsohren. Ihr Verhalten zum Trichterfortsatz und die Art ihrer Anfügung an das übrige Rohr zeigen sich in Uebereinstimmung mit den Biegungsohren, die wir an einem dickwandigen Gummischlauch durch Zurückziehen seines Endabschnittes künstlich erzeugen können. Scheidet man an einem solchen Rohre die obere und untere Hälfte durch eine Grenzlinie, so constatirt man leicht, dass das Biegungsohr in der unteren Hälfte sich hält, von dieser einen grossen Substanzstreifen in Anspruch nehmend. Bei diesem Versuche zeigt sich das Biegungsohr nach vorn und nach oben von einem etwas gebogenen Wandstreifen überragt, welcher unten schmal beginnt, nach oben keilförmig sich verbreitert und der an der Endfläche des Rohres seine maximale Höhe erreicht. Es bedarf geringer Ueberlegung, um zu erkennen, dass dieser Streifen dem Gebiet der Hemisphären entspricht, mit welchem er, was Lage und Form anbetrifft, in voller Uebereinstimmung sich befindet. An dem Gehirnprofil der Figur 5 lassen die Hemisphären alle die Eigenthümlichkeiten erkennen, die jener Wandstreifen zeigt, die gebogene Form, die schmal vor den Augenblasen beginnende Basis, das verbreiterte, die Augenblase überragende Endstück, ferner den vorderen Anschluss an die schräge Endfläche des Rohres.

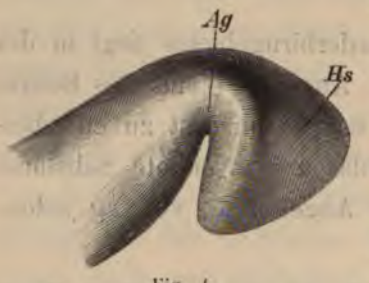


Fig. 4.
Gummischlauch mit Biegungsohr im Profil gesehen. *Ag* Ort der Augenblase, *Hs* des Hemisphärenhirns.

Die ventrale oder Grundplattenhälfte desjenigen Rohrabschnittes, aus dessen dorsalem oder Flügeltheil die Hemisphären entstehen, findet seine Hauptverwendung bei der Bildung der Augenblasen

und ihres Wurzelgebietes. Der Rest desselben bildet die Seitenwand des Trichterfortsatzes.

Die Seitenwand des Vorderhirns zerfällt demnach:

der Länge nach getheilt:

I. in Grundplatte: Regio subthalamica des Zwischenhirns mit Einschluss der R. mammillaris,
die Augenblasen und deren Wurzelgebiet.

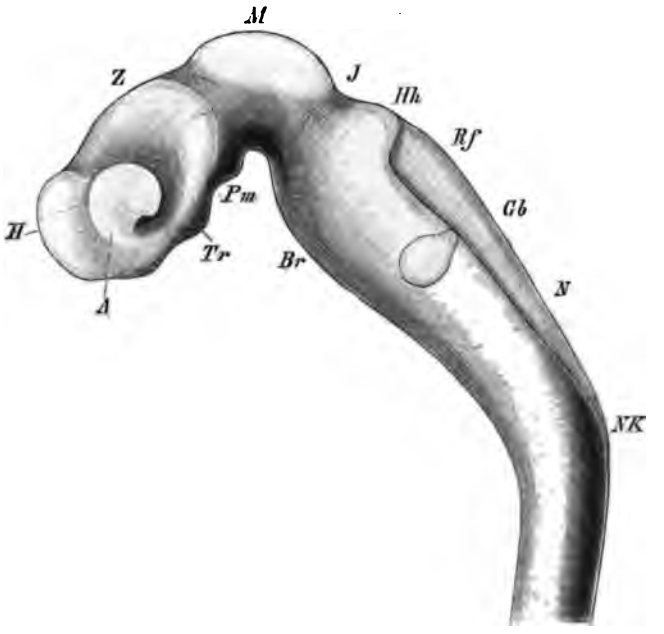


Fig. 5.

Gehirn eines Embryo der dritten Woche (*Lg*), Profilconstruction. Vergr. 35. *A* Augenblase, *H* Hemisphärenhirn, *Z* Zwischenhirn, *M* Mittelhirn, *J* Isthmus, *Hh* Hinterhirn, *N* Nachhirn, *Gb* Gehörblase, *Rf* Rautenfeld, *NK* Nackenkrümmung, *Br* Brückenkrümmung. *Pm* Processus mammillaris, *Tr* Trichterfortsatz.

II. Flügelplatte: Sehhügel,
Hemisphären einschliesslich Riechlappen und Streifenhügel.

der Quere nach getheilt:

I. hintere Hälfte des Vorderhirns oder Zwischenhirn im engern Sinn. Gebiet des Tuber mammillare und Regio subthalamica des Zwischenhirns,
Sehhügel.

II. vordere Hälfte des Vorderhirns oder Hemisphärenhirn im weitern Sinn.	Trichterfortsatz nebst Augenblase, Hemisphäre nebst C. striatum und Riechlappen.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass streng genommen die Grenze der vorderen und hinteren Hälfte des Vorderhirns nicht in die Gegend des Chiasma oder gar der Lamina terminalis zu verlegen ist, sondern weiter nach rückwärts in den Einschnitt

Fig. 6.

Gehirn vom Embryo *Br*3. 6,9 mm NL. Die Bezeichnungen sind bei der Tafelerklärung nachzusehen.

zwischen Trichterfortsatz und Mammillarhöcker, wobei ein Theil der Augenblasenwurzel nebst dem Trichterfortsatz dem Hemisphärenhirn zufallen. Es ist dies nicht die übliche Eintheilung, und es lässt sich nicht leugnen, dass die Zusammenfassung aller Theile, welche den dritten Ventrikel einschliessen, zum gemeinsamen Complex des Zwischenhirns ihre didaktischen Vorzüge hat. Die Trennung des Grund- und des Flügelplattenantheils tritt in der Seitenwand des dritten Ventrikels bei Embryonen des zweiten Monats sehr scharf zu Tage, und sie äussert sich an der Innenfläche durch das Vorhandensein einer vom

Mittelhirn bis zum Foramen Monroi sich erstreckenden Längsfurche, deren genaueres Verhalten in einem der folgenden Abschnitte erörtert werden soll. Als Uebersichtsbild einer früheren Periode kann der Längsschnitt eines circa vierwöchentlichen Embryonalhirns (Br_3) dienen, bei welchem die Hemisphären sich eben abzugliedern beginnen, aber noch ungetheilt sind (obige Textfigur 6 und Taf. I, Fig. 4).

Die Bildung und Ablösung der Augenblasen.

In den Untersuchungen über die erste Entwickelung des Hühnchens im Ei habe ich seiner Zeit eine genaue Analyse der Augenblasenbildung beim Hühnchen gegeben[1]). Erläuternde Abbildungen

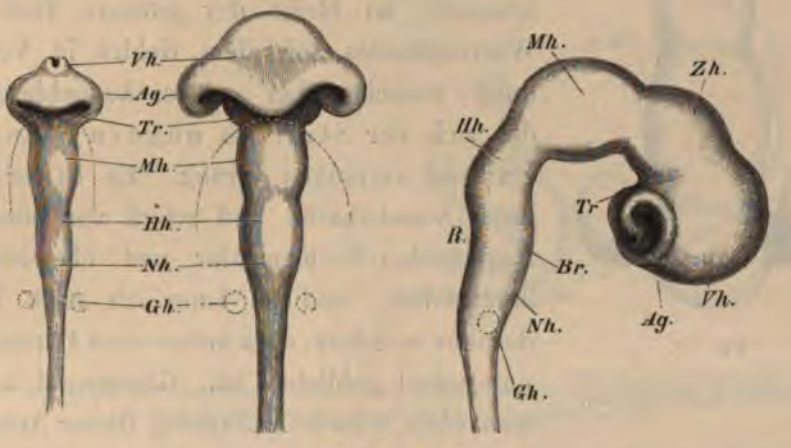


Fig. 7, 8 u. 9.
Gehirn des Hühnchens zur Erläuterung der Augenblasenbildung.

dazu, die ich beistehend copire, finden sich in den Briefen über unsere Körperform. Hiernach entstehen die Augenblasen als Biegungsohren aus der Seitenwand des Vorderhirns, und ihrer Bildungsweise entsprechend zeigt jede derselben an ihrer unteren Seite von früh ab eine concave Einbuchtung, welche von einer vorderen und einer hinteren Leiste eingefasst wird[2]). Die vordere dieser Leisten (die Basilarleiste) stösst an die Wurzel des Hemisphärenhirns und, indem sie unter der Augenblase umbiegt, verlängert sie sich schräg

1) l. c. Seite 104 u. 132. Die Mechanik der Bildung findet sich auch besprochen in »Körperform« S. 100.

2) Bei allen Orientirungsbezeichnungen ist der Kopf aufgerichtet gedacht, den Scheitel nach oben, den Stirntheil nach vorn.

nach rückwärts und trifft mit der der anderen Seite im Trichterfortsatz zusammen. Die hintere Leiste (die Seitenleiste) verliert sich in der Seitenwand des Zwischenhirns. Beim Hühnchen zeichnen sich beide Leisten sehr scharf ab, besonders zu der Zeit, da die Scheitelkrümmung des Gehirns zur Ausbildung gekommen ist, und beide bilden mit der Augenblase einen nahezu rechten Winkel (Fig. 9).

Die sich abschnürende Augenblase mit der Zunge vergleichend, habe ich in jener älteren Arbeit das Ausgangsgebiet der Augenblase als deren Wurzel bezeichnet. Das Wurzelgebiet ist Anfangs ziemlich umfänglich, es gehören dazu die Basilarleiste und die überliegende Seitenwand des Zwischenhirns. Wenn dann die Ablösung der Augenblase weiter fortschreitet, so bleibt der grössere Theil des Wurzelgebietes mit dem Gehirn in Verbindung; zwischen ihm und der Augenblase bildet sich der Stiel im engern Sinn, als ein stark verjüngter Strang. Es ist schwer, diese wandelbaren und weich von einander losgehenden Formen klar und übersichtlich darzustellen, und so kann ich mich kaum darüber wundern, dass meine erste Darstellung unbeachtet geblieben ist. Gleichwohl kommt man ohne scharfe Auffassung dieser Anfangsgestaltungen nicht zum Verständniss der späteren Eigenthümlichkeiten der Gegend, und dies ist der Grund, weshalb ich auf Längstgesagtes, aber auch Längstvergessenes zurückzugreifen mir erlaube.

Fig. 10.
Gehirn eines ca. dreiwöchentl. Embryo von der Scheitelseite her.

Beim menschlichen Embryo tritt auf den mir bekannten frühesten Stufen die Augenblase jederseits mit breiter Wurzel aus dem Vorderhirn hervor. Ihr Abgang erfolgt schräg nach rückwärts, und während sie von oben und von hinten her durch einen tiefen Einschnitt abgesetzt erscheint, ist sie vom Hemisphärenhirn Anfangs nur durch eine seichte Einbiegung der Wand geschieden. Die Basilarleiste ist auch hier nachweisbar und sie läuft, mit der der anderen Seite convergirend, im Trichterfortsatz aus[1]). Hinter derselben folgt in der Hirnwand eine concave Einziehung, welche, schräg von unten

1) Anat. menschl. Embr. Taf. IX, Fig. 8—10.

her, auf die Augenblase übergreift. Aus der zuerst seichten Einziehung wird gegen Ende der vierten Woche eine tiefe Grube, welche vom convexen Randtheil der Augenblase im Bogen umgriffen wird. Der untere Zugang zur Grube verengt sich durch das Aneinanderrücken der Basilar- und der Seitenleiste zu einer schmalen Spalte, welche ihrerseits in eine am Augenblasenstiel kurz auslaufende Furche sich fortsetzt. Diese Furche erhält sich am Endabschnitte des Augenblasenstieles auch dann noch, wenn die Augenblasenspalte schon

Fig. 11.

Schluss der Augenblase beim vierwöchentl. Embryo (Br_3). Halbschematisch. *Bl* Basilarleiste, *Sl* Seitenleiste, *o.W* obere Wurzelleiste, *Tr* hintere Spitze des Trichterfortsatzes.

grösstentheils geschlossen ist, und in sie lagert sich die Arteria centralis retinae (bez. A. hyaloidea). Noch gegen Mitte des zweiten Monats, wenn der Augenblasenstiel schon zu einem langen Strang ausgezogen ist, ist der Schlitz nachweisbar, und er öffnet sich nach abwärts und vorn.

Umstehende zwei Constructionsfiguren geben die Insertion des Augenblasenstiels vom ca. fünfwöchentlichen Embryo (*Sch.*), die eine Fig. 13 parallel zum Aequator projicirt, die andere parallel der Augenaxe. An der ersteren Figur sieht man noch den hufeisenförmigen Schlitz, welcher zwischen Pigment- und Retinalblatt der Augenblase hineinführt, während die innere schräge Spalte, in deren oberem Ende die Centralarterie liegt, in den Raum zwischen Retina und Linse sich öffnet.

Da die Augenblase von Anfang ab schräg nach rückwärts

hervortritt, so liegt ihr Eingang vom Hirnraum aus in ihrer vorderen Hälfte. Nachdem aber das Auge einmal angelegt ist und eine längern Stiel bekommen hat, erfährt es eine ausgiebige Drehung: die ursprünglich etwas dorsalwärts, dann einfach lateralwärts führende Höhlung des Retinabechers dreht sich allmählich nach vorn. Bei Embryonen aus der zweiten Hälfte des zweiten Monats bilden die

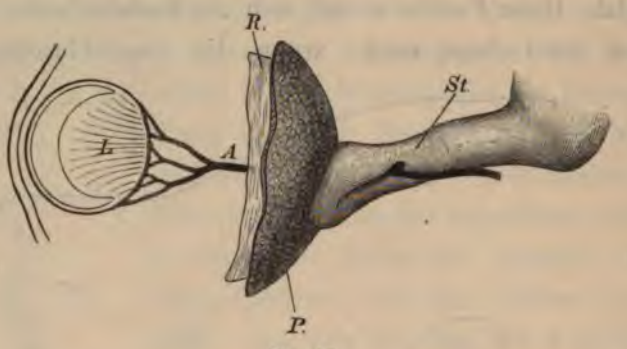


Fig. 12.

Projection von der Nasenseite her des Augenblasenstieles und der Arteria centralis vom Embryo *Sch.* 13,8 mm NL. Vergr. 64. *L* Linse, *A* Arteria centralis, *P* Pigmentblatt, *R* Retinablatt der Augenblase, *St* Stiel derselben mit seinem schrägen Schlitz.

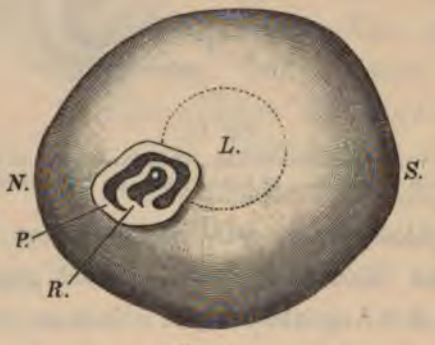


Fig. 13.

Projection desselben Auges parallel dem Aequator. Bezeichnung wie oben. *N.* Nasenseite, *S.* Schläfenseite des Auges. Der helle Kreis im innern Schlitz bedeutet die A. centralis, die Stellung der Linse ist punktirt angegeben.

beiderseitigen Augenaxen mit einander einen Winkel, der ungefähr 90° beträgt. Im Laufe des dritten Monats nimmt dieser Winkel noch mehr ab, bis dann schliesslich (in welchem Zeitpunkt vermag ich nicht genau zu sagen) die beiden Axen in eine Parallelstellung einrücken. Dabei kommen die Theile der Augenblase, die sich ursprünglich am meisten dorsalwärts befanden, lateralwärts zu liegen, die Anfangs vorderen Abschnitte der Anlage aber bilden später den medialen Theil der Netz- und der Pigmenthaut. Die excentrische

Insertion des Sehnerven in die Retina ist somit aus der schrägen Anfangsstellung der Augenblase abzuleiten. Zugleich ergiebt ein Blick auf die Figuren 10—13, dass die Macula lutea zu der primären Augenspalte in keiner Beziehung stehen kann, denn die Macula entwickelt sich auf der von der Spalte abgewendeten Seite der Augenblase.

Das Auge verschiebt sich im Verlauf der weiteren Entwickelung auch als Ganzes mehr und mehr aus der Stätte seiner ersten Bildung heraus nach abwärts und nach vorn. Die Profilconstructionen jüngerer Stufen bis gegen Ende des ersten Monats zeigen das Auge der Seitenwand des Zwischenhirns anliegend und höher als den Trichterfortsatz.

Fig. 14.

Profil eines ca. 3½ wöchentl. Embryo mit abgeschnitten gedachter Augenblase. Profilconstruction.

Dann rückt es im Verlauf der fünften Woche allmählich in das Niveau dieses letzteren herab, später tritt es von hier aus mehr und mehr nach vorn, und am Ende des zweiten Monats liegt dasselbe unterhalb vom Riechlappen[1]).

Um eine Vorstellung von der Gestaltung der Augenblasenwurzel auf früheren Stufen zu geben, theile ich Fig. 14 das Constructionsbild eines ca. 3½ wöchentlichen Gehirns mit, bei dem die Augenblase als abgeschnitten gedacht ist. Die Wurzel sowohl, als der ihr angehörige Spalt zeigen eine leichte S-förmige Krümmung. Oberhalb der Stelle der Augenblase erhebt sich die Seitenwand des Zwischenhirns zu einer niedrigen Leiste, welche, hinter der Grenze des Hemispärenhirns herabsteigend, weiterhin in eine vordere und eine

1) Anatomie menschl. Embryonen Taf. IX, Taf. I* und Taf. XIII.

hintere Lippe sich spaltet. Sie mag vorerst die obere Wurzelleiste heissen[1]). Die vor der Zugangsspalte herabtretende Wandlippe zeigt in ihrer unteren Hälfte eine convexe Ausbiegung und sie wendet sich, an der Basis angelangt, dorsalwärts, um im Trichterfortsatz zu endigen. Dieser untere convexe Vorsprung entspricht der Basilarleiste. Die hinter der Zugangsspalte herabsteigende Wandlippe ist in ihrer oberen Hälfte convex ausgebogen, in der unteren concav eingezogen. Die convexe Ausbiegung entspricht der Seitenleiste, die Einziehung ist der Ausdruck der zwischen Basilar- und Seitenleiste liegenden Furche.

Der Zugangsspalt zur Augenblase ist an seinem oberen und am unteren Ende zugeschärft, in der Mitte dagegen ausgeweitet. Das ausgeweitete Stück verläuft annähernd parallel mit der Vorderhirnaxe.

Noch zu Ende der vierten Woche führt vom Gehirn aus eine relativ hohe und breite Spalte bis in die Augenblase herein. Dann aber trennt sich letztere durch einen verjüngten Stiel vom übrigen Wurzelgebiet ab, und indem ihre Ablösung von oben nach abwärts und zugleich von hinten nach vorn fortschreitet, rückt der die Verbindung unterhaltende Stiel schliesslich an die vordere untere Ecke des Wurzelgebietes, und von hier ausgehend, finden wir noch gegen Ende des zweiten Monats einen feinen, in den Anfangstheil des Stieles hereinreichenden Kanal. Der Kanal ist jedoch zu der Zeit nicht mehr bis ins Auge herein durchgängig, seine Lichtung wird, soweit ich verfolgen kann, im Verlauf der siebenten Woche unterbrochen.

Der grössere Theil der Augenblasenwurzel bleibt mit der Seitenwand des Zwischenhirns verbunden. Die obere Wurzelleiste tritt hinter der Fossa Sylvii des Hemisphärenhirns selbstständig aus der übrigen Fläche heraus und an ihrem unteren, den Trichterfortsatz überragenden Ende trägt sie einen rechtwinklig von ihr abgehenden Conus, den Wurzelconus, welcher an seiner Rückseite, sowie auch nach unten durch tiefe Einschnitte sich abgrenzt[2]). Taf. I, Fig. 4 giebt

1) Es ist dies der Theil, den ich in der Anat. menschl. Embr. I, S. 25 als Crus anterius des Zwischenhirns bezeichnet hatte.

2) Von meinen älteren Abbildungen geben die Durchschnitte 11—15, Taf. IV der Anat. menschl. Embryonen sehr belehrende Anschauungen. Bei 11 und 12 ist die obere Wurzelleiste getroffen, 13 und 14 zeigen den flaschenförmig sich absetzenden Wurzelconus und bei 14 und 15 ist die nach vorn und abwärts gerichte Rinne der secundären Augenschale zu sehen.

das Verhalten nach dem Plattenmodell eines 4½wöchentl. Embryonalhirns (*Ko*), und Fig. 1 derselben Tafel zeigt für eine etwas jüngere Stufe, für den ca. 4wöchentl. Br_3, die sich abschnürende Augenblase. An der etwas schematisirten Textfigur 11 sind die Basilar- und die Seitenleisten bestimmter auseinander gehalten. Der starke verticale Wulst an der Rückseite des Wurzelconus ist meines Erachtens das umgebogene Endstück der Seitenleiste, und der darunter folgende Einschnitt stellt den Rest der ursprünglichen Zugangsfurche zum Augenbecher dar.

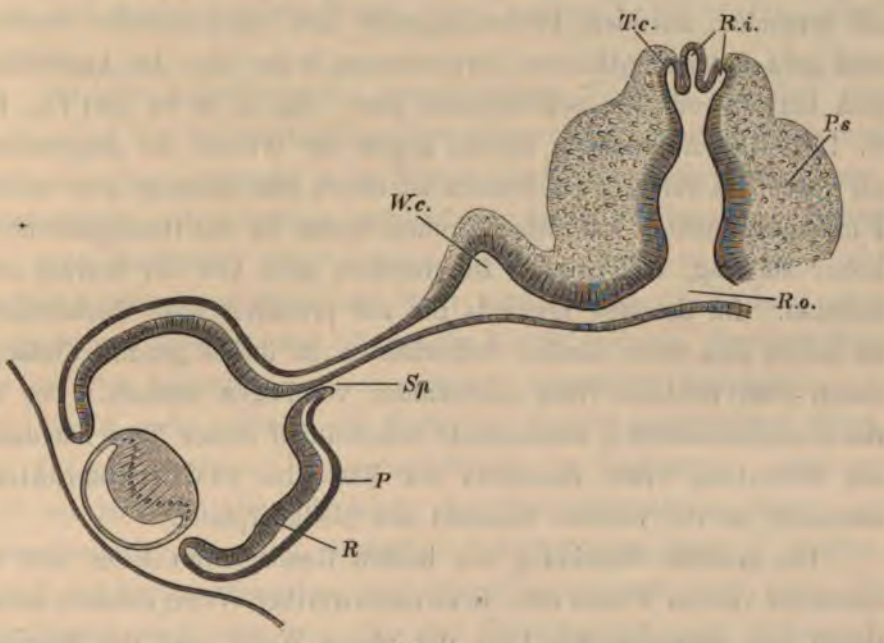


Fig. 15.

Durchschnitt durch den Stiel der Augenblase des ca. fünfwöchentl. Embryo *Sch.* *T.c.* Tuber cinereum mit *R.i.* Recessus infundibuli, *W.c.* Wurzelconus durch eine Furche vom Gehirn abgesetzt und lateralwärts in den Stiel der Augenblase übergehend, *Sp* Spalte für den Eintritt der Arteria centralis, *R* Retina. Die untere Seite der Figur entspricht der Nasenseite, die obere der Schläfenseite. Man sieht auch die excentrische Insertion des Stieles in die Augenblase.

An der Innenfläche des Gehirns bezeichnet eine breite Rinne den Ort der oberen Wurzelleiste, ihr Ende biegt in die Längsfurche um, welche Grund- und Flügelplatte der Zwischenhirnwand von einander scheidet (Taf. I, Fig. 2, 4 und 6). Ihr unteres Ende vertieft sich zu einem in den Wurzelconus eindringenden, Anfangs ziemlich weiten Gang. Wurzelfurche und Wurzelgang werde ich diese Bildungen vorläufig nennen. Der letztere zeigt einen gebogenen Verlauf mit dorsalwärts gerichteter winkeliger Knickung.

Erste Gestaltung des Hemisphärenhirns.

In einem der vorigen Abschnitte ist dargethan worden, wie nach Bildung der Augenblasen der dorsale Endabschnitt des Vorderhirnrohres als Hemisphärenhirn sich abgliedert. Anfangs von geringer Ausdehnung, besitzt das Hemisphärenhirn, im Profil gesehen, die Form einer Retorte oder einer etwas verbogenen Birne, und es umgreift mit seinem concaven Saum die Augenblase von vorn und von oben her. Der vor der Augenblase liegende Wurzeltheil beginnt als schmaler, aus dem Präbasilargebiet sich entwickelnder Streifen und geht unter allmählicher Verbreiterung in das über der Augenblase sich hinwegwölbende Scheitelstück über (Fig. 5, S. 11 und Fig. 14, S. 17). Die Abgränzung sowohl gegen die Wurzel der Augenblase, als gegen das übrige Zwischenhirn ist durch eine Anfangs sehr seichte Furche bestimmt. Auf diesen frühen Stufen ist das Hemisphärenhirn höher als lang, sein grösster Durchmesser geht von der Wurzel zum Scheitel. Da dasselbe nirgends bis zur primären Basis herabreicht, so haben sich seine beiden Seitenhälften in ihrem ganzen Umfange durch eine mediane Naht miteinander vereinigen müssen. Der an das Zwischenhirndach anstossende Scheiteltheil dieser Naht hat dabei die Bedeutung einer dorsalen; der Rest, bis zum Trichterfortsatz reichend, ist die vordere Endnaht der Medullarplatte.

Die seitliche Scheidung der beiden Hemisphären leitet sich zu Ende der vierten Woche ein. Bemerkenswerther Weise entsteht zuerst durch eine ausspringende Falte der obern Wand eine das Scheitelstück des Hemisphärenhirns halbirende Längsleiste (Taf. I, Fig. 3). Sie entwickelt sich dicht vor der Gränze des Zwischenhirndaches und verliert sich über der Vorderwand des Rohres[1]).

Vom Beginn der fünften Woche ab werden die zwei Seitenfurchen, welche das Hemisphärenhirn gegen die Augenblasenwurzeln und gegen

1) LOEWE Nr. 10, S. 45 u. ff. zeichnet ganz richtig die mediane Längsleiste des Hemisphärenhirns, lässt sie aber, was unrichtig ist, in die Lamina terminalis übergehen. Er nennt den von ihr eingefassten Raum das Dachdivertikel der Grosshirnblase. In seiner Figur 31, Taf. II zeichnet LOEWE einen breiten unpaaren Vorsprung zwischen den beiden Adergeflechtfalten. Dieser Vorsprung, den auch meine Figur 17 (s. u.) erkennen lässt, scheint bei Kaninchenembryonen besonders ausgeprägt zu sein.

das übrige Zwischenhirn abgränzen, tiefer und sie schneiden in schräger Richtung in die Decke ein, wobei die oben erwähnte Längsleiste jederseits von einer Fortsetzung der beiden Furchen eingesäumt und in die Tiefe gedrängt wird. Das anstossende Ende des Zwischenhirndaches schiebt sich weiterhin als medianer Zwickel zwischen die beiden seitlich sich vorwölbenden Hemisphären ein. Vor der obern Längsleiste fliessen die beiden Seitenfurchen in eine einzige unpaare Längsfurche zusammen, welche den vordern Theil des Hemisphärenhirns halbirt. Die Furche endigt noch diesseits vom Trichterfortsatz, ohne auf dessen vordere Wand, die Lamina terminalis, überzugehen.

Mit der Ausbildung der beschriebenen Furchen scheiden sich nicht allein die beiden Hemisphären voneinander, sondern es kommt auch zu einer Trennung von Mantel- und Wurzelgebiet des Hemisphärenhirns. An letzterem entsteht eine flache Einziehung der Wand als erste Andeutung einer Fossa Sylvii. Eine im Anfang sehr seichte Verlängerung der Grube nach vorn bedingt die Bildung eines stufenartigen Absatzes, des zukünftigen Riechlappens, darunter folgt die vor der Augenblasenwurzel liegende ungetheilte Endplatte.

Es ist nicht schwer, mit Hülfe der bisher festgestellten Daten, der Ort der späteren Hemisphärenlappen zu bestimmen. Das zur Zeit am höchsten stehende Ende des Hemisphärenhirns liefert den Hinterhauptslappen. Der zukünftige Schläfenlappen liegt der Seitenwand des Zwischenhirns an, der Scheitellappen sieht nach vorn, der Stirnlappen nach abwärts. Der den Hinterhauptslappen umfassende Bezirk der Hemisphäre emancipirt sich am frühesten von seiner Umgebung, und bei seinem Freiwerden verschiebt er sich nach rückwärts über das Ende des Zwischenhirns hinweg.

Im Innern hat sich durch die den äusseren Furchen entsprechenden Einfaltungen der Wand die Trennung der beiden Seitenventrikel eingeleitet: die unpaare Vorderfalte, die Sichelfalte, wie wir sie nennen können, verengt den Ventrikeleingang von vorn und von oben her, und sie geht jederseits in eine von hinten nach vorn vorspringende concav gebogene Leiste über, welche den Rand des Zwischenhirns bezeichnet. Von unten her ragt ein der Fossa Sylvii entsprechender convexer Wulst gegen die Lichtung vor als erste Andeutung eins Corpus striatum. So entsteht jederseits eine

Art von unregelmässigem Diaphragma, welches von vorn, von oben, von hinten und von unten her den Eingang in die Seitenventrikel umgreift und ihn zum Foramen Monroi umbildet. Als Rest des unpaaren Vorderventrikels, des Ventriculus impar, erscheint der Raum zwischen den beiden einander zugewendeten Streifenhügeln, derselbe verkleinert sich aber in eben dem Maasse, als die Sichelfalte sich ventrikelwärts verlängert. Die in ihren ersten Anfängen beschriebenen Bildungen des Hemisphärenhirns gewinnen im Laufe der fünften Woche alle ein viel bestimmteres Gepräge.

Mediale Hemisphärenwand, Adergeflechtfalte und Bogenfurche im Verlaufe der fünften Woche.

Mit dem Auftreten der medianen Sichelfalte und ihrer das Zwischenhirn begrenzenden hinteren Fortsetzungen bekommen die beiden Hemisphären eine mediale Wand, und diese wird um so breiter, je tiefer die genannten Furchen in das Vorderhirn einschneiden. Die laterale Fläche des Hemisphärenmantels bewahrt auf längere Zeit hinaus eine glatte, gleichmässig gerundete Wölbung. An der medialen Wand dagegen treten frühzeitig bestimmte Faltungen auf, welche im weiteren Verlauf der Entwickelung zu einer tiefgreifenden Umbildung dieser Wandfläche führen. Schon frühere Beobachter, F. Arnold, F. Schmidt u. A. haben diesen Falten ihre Aufmerksamkeit geschenkt und deren Bedeutung für die spätere Gehirngestaltung gewürdigt; so ist besonders die Geschichte der Arnold'schen Bogenfalte und ihrer Beziehungen zur Bildung von C. callosum, Septum pellucidum und Ammonshorn längst zum wissenschaftlichen Gemeingut geworden[1]). Das Verhalten der medialen Hemisphärenwand in den frühen Perioden ihres Bestehens habe ich mich bemüht, theils auf dem Wege directer Präparation, theils auf dem des Schnittstudiums festzustellen. Am menschlichen Material stösst man auf die besondere Schwierigkeit, dass sich die dünnwandigen Hemisphärenblasen häufig durch äussere Zufälligkeiten in Falten legen (durch Druck auf den Kopf bei der Geburt oder bei der Aufbewahrung des Embryo, oder durch Quellung infolge ungenügender Conservirung),

1) Arnold Nr. 11, S. 1232, F. Schmidt Nr. 12, S. 54.

und dass die also entstandenen zufälligen Falten mit den natürlichen sich combiniren können. Mit einiger Umsicht in der Auswahl des Materiales kommt man indessen dahin, die einen von den andern zu unterscheiden, wobei dann auch die Constanz und die Regelmässigkeit der natürlichen Falten als sichere Unterscheidungsmittel dienen.

Aus der Beschreibung der vorigen Stufe ergab sich ein gewisser Gegensatz zwischen dem Scheiteltheil der Hemisphärendecke und dem vordern Abschnitt derselben. An jenem bestand eine mediane Längsleiste, welche an diesem fehlte. Die mediane Leiste behält ihre oberflächliche Stellung nicht lange bei. Sie biegt sich ventrikelwärts ein und nimmt unter gleichzeitiger starker Verdünnung an Ausdehnung zu. Es entsteht neben ihr eine zweischichtige quergestellte Falte, die epitheliale Adergeflechtfalte. Von der medialen Hirnoberfläche führt eine enge Spalte, der Sulcus chorioideus in das Innere der Falte hinein. Eine breite gefässhaltige Bindesubstanzschicht erfüllt den Hauptraum der Sichelfurche, aber von hier aus gehen Anfangs noch keine Gefässe in den Sulcus herein, der Spaltraum der Adergeflechtfalte erscheint frei von innen liegenden fremden Gewebstheilen. Die Bildung der Falte kann daher nicht, wie dies häufig geschieht, als eine Einstülpung der Hemisphärenwand durch hineinwuchernde Blutgefässe gedeutet werden. Die Falte entsteht durch eine selbstständige Flächenausdehnung der epithelialen Zellenschichten und erst nachträglich wird der dadurch geschaffene Raum von hereinwachsenden Gefässen eingenommen. Umstehende Figuren 16 bis 18 geben Durchschnitte durch das Gehirn eines etwas über 4½-wöchentlichen Embryo (*Ha*), Fig. 16 noch ausserhalb des Bereichs der Adergeflechtfalte, Fig. 17 am vorderen Ende derselben, Fig. 18 etwas weiter hinten. An der Fig. 17 abgebildeten Stelle ist die Falte sehr schmal, weiterhin reicht sie aber beiderseits tief in den Seitenventrikel hinein. Das hintere Ende derselben zeigte sich frühzeitig in zwei oder drei Falten gelegt.

Nach vorn endet die Adergeflechtfalte mit raschem Absatz und von da ab nimmt die Sichelfalte einen andern Charakter an (Fig. 16). Sie drängt sich tief zwischen die beiderseitigen Streifenhügel ein und läuft an ihrem dem dritten Ventrikel zugekehrten Ende in eine scharfe Kante aus. Durch diesen Theil der Sichelfalte wird der vordere untere Theil jeder Hemisphäre mit einer breiten Wandfläche

versehen (Fig. 19) die nach abwärts bis zum Riechlappen, dorsalwärts bis zur Lamina terminalis sich erstreckt.

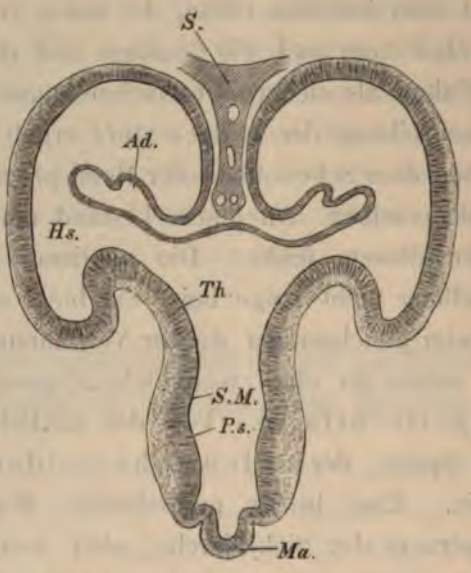


Fig. 16.

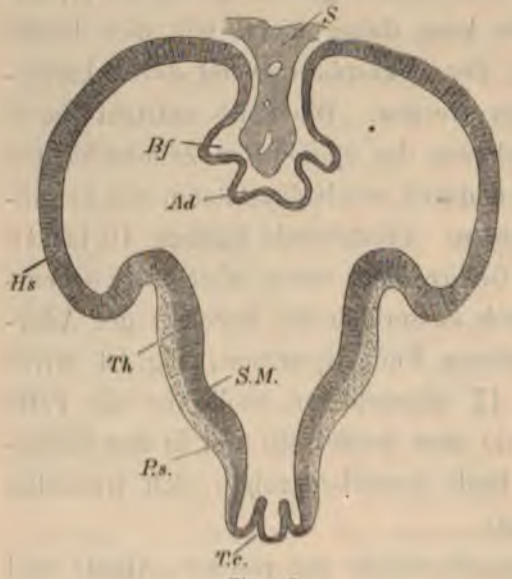


Fig. 17.

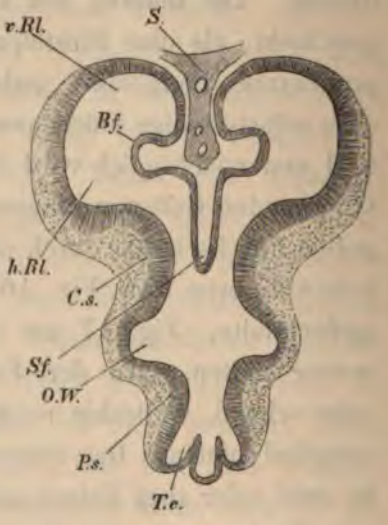


Fig. 18.

Durchschnitte durch das Vorderhirn eines ca. 4½wöchentl. Embryo (*Ho*). Vergr. 20. Fig. 18. Der Schnitt trifft die Sichelfalte in ihrem unteren, zwischen die beiden Streifenhügel vordringenden Abschnitt. Fig. 17. Oberer Theil der Sichelfalte. Fig. 16. Der Schnitt trifft die Adergeflechtfalte in ihrer grösseren Breite.

Im Bereich der eben besprochenen Wand entsteht, schon in sehr früher Anlage, die vordere Bogenfurche. Sie beginnt an

der medialen Fläche des Riechlappens als ein tiefer Einschnitt (Incisura prima) und von hier aus steigt sie scheitelwärts empor. Zur Zeit erreicht sie weder den Hemisphärenrand, noch die hintere Bogenfurche, sondern endet, allmählich seichter werdend, vor der Adergeflechtfurche. Von den obigen Figuren 16—18 zeigen nur die beiden letzteren die Furche, bei Fig. 16 ist sie nicht mehr vorhanden. Charakteristisch ist das Verhalten des Riechnerven zu dieser Furche. Als dicker Stamm kommt dieser Nerv von der Nasenhöhle herauf, und in der verlängerten Richtung der Furche verlaufend, legt er sich an deren unterem Ende der Hirnwand an.

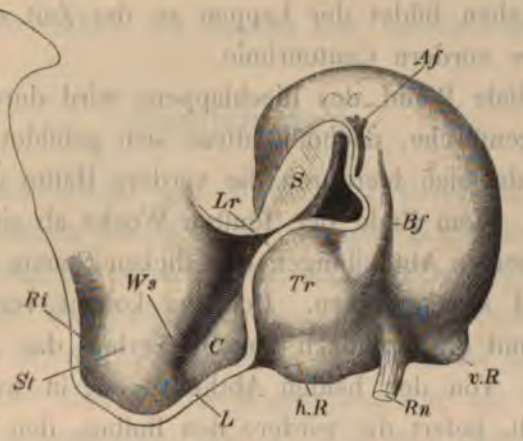


Fig. 19.

Mediale Fläche des Hemisphärenhirns desselben Embryos (*Ha*). Vergr. 20. *S* Stiel des Streifenhügels, *St* Torus subthalamicus, *Ws* Wurzelspalte der Augenblase, *Af* Adergeflechtfurche, *Bf* Bogenfurche, *Tr* Trapezfeld, *Lr* Limbus rostri, *L* Lamina terminalis, *h.R* hinterer Riechlappen, *Rn* Riechnerv, *v.R* vorderer Riechlappen.

Die hintere Bogenfurche, oder Ammonsfurche nach Mihalkovics legt sich gleichfalls früh an. Sie erscheint zunächst als seichte Rinne in dem Theil der Hemisphärenwand, welcher die Seitenfläche des Sehhügels berührt. Ein Zusammenhang der vordern und der hintern Bogenfurche besteht in früherer Zeit noch nicht. Bei obiger Fig. 19 besitzt das Foramen Monroi eine dreieckige Umgränzung. Die hintere Gränze wird vom Umschlagsende des Zwischenhirns gebildet, die vordere und obere von der Adergeflechtplatte, den vordern und untern Saum bildet der Rand der in die Vorderhirnlichtung einspringenden Sichelfalte. Diese Falte verdeckt den tiefen Theil des Hemisphärenzuganges und den grössten Theil des Streifenhügels.

Der Riechlappen des Hemisphärenhirns.

Der tiefere Abschnitt des Hemisphärenhirns scheidet sich, wie dies oben gezeigt wurde, durch eine von der Fossa Sylvii nach vorn sich erstreckende Furche als besonderes Feld ab. Dieses Feld ist der Riechlappen. Der Riechlappen ist schmäler als die überliegende Hemisphäre, sein hinteres Ende liegt vor der Wurzel der Augenblase, durch eine breite Furche davon geschieden. Auch diese Furche hängt nach aufwärts mit der Fossa Sylvii zusammen und kann als deren unterer Ausläufer betrachtet werden, Taf. I, Fig. 3 und Fig. 4. Im Profil gesehen bildet der Lappen zu der Zeit einen merklichen Absatz an der vordern Contourlinie.

Die mediale Wand des Riechlappens wird durch den Anfangstheil der Bogenfurche, nachdem diese sich gebildet hat, eingestülpt und es scheidet sich hierdurch die vordere Hälfte des Lappens von der hinteren. Vom Ende der fünften Woche ab sieht man auf der Gränze der beiden Abtheilungen den dicken Stamm des Riechnerven der Hirnwand sich anlagern. Derselbe kommt von der Decke der Nasenhöhle und erreicht nach kurzem Verlauf das untere Ende der Bogenfurche. Von den beiden Abtheilungen, in welche der Riechlappen zerfällt, liefert die vordere den Bulbus, den Tractus und das Trigonum. Ich werde sie als vorderen Riechlappen bezeichnen, oder da Tractus und Trigonum noch nicht selbstständig hervortreten, abgekürzt als Bulbustheil, die andere Abtheilung, deren Schicksale nachher besprochen werden sollen, nenne ich den hinteren Riechlappen[1].

---

1) Die meisten Autoren verstehen unter Riechlappen nur das, was oben als vorderer Riechlappen bezeichnet worden ist:

v. MIHALKOVICS (Nr. 13, S. 141 u. f.) unterscheidet zwischen Riechlappen und Riechwindung. Jenen bezeichnet er als einen unter dem Stirnlappen hervortretenden kurzen kolbenförmigen Hohlfortsatz, die Riechwindung als einen unterhalb der Fossa Sylvii liegenden, zum Schläfenlappen hinziehenden, schlanken, bogenförmigen Windungszug. Aus dem Lappen gehen nach ihm Bulbus, Tractus und Trigonum hervor, aus der Windung die sog. äussere und innere Wurzel des Riechnerven.

Auch KÖLLIKER bezeichnet als Riechlappen beim Fötus des dritten und vierten Monats (Nr. 14, S. 19 und Taf. IV, Fig. 22—24) ein in der Gegend des

Beide Theile des Riechlappens sind natürlich noch hohl und deren Höhlung bildet den Boden des Vorderhorns des Seitenventrikels, demnach ist der gesammte Riechlappen gegen den letzteren hin weit offen. Zu vergl. Taf. I, Fig. 6 und die Textfigur 18, S. 24. Mit fortschreitender Vertiefung der Bogenfalte verengt sich der zwischen beiden Abtheilungen des Riechlappens vorhandene Verbindungsgang, und dieser bildet sich allmählich zu einer lateralwärts convex ausgebogenen Furche um. Schnitte, welche zu Ende der fünften Woche die hintere Höhle allein treffen, zeigen dieselbe als eine durch den Streifenhügel einerseits, durch die Bogenfalte anderseits eingeengte Querspalte, welche nach vorn in zwei Ecken ausläuft. Die äussere der beiden Ecken enthält den Zugang zum vorderen Riechlappen.

Streifenhügel.

Der zwischen Mantel und Wurzel des Hemisphärenhirns vorhandenen äusserlichen Einbuchtung entspricht an der Innenfläche eine Hervortreibung der Wand. Jene ist die Fossa Sylvii, diese die erste Anlage des Streifenhügels. So lange die Fossa Sylvii nur schwach vertieft ist, erscheint auch der Streifenhügel als eine flache Erhebung, welcher eine scharfe Begränzung nur am Eingange der Augenblasenwurzel zukommt (Taf. I, Fig. 2). Mit zunehmender Abschnürung der Hemisphären scheidet sich der Streifenhügel immer bestimmter von seiner Umgebung ab und, da sich im weitern Verlauf der Entwickelung die Wand in dessen Bereich erheblich verdickt, so wölbt er sich bald als umfänglicher Wulst gegen die Ventrikellichtung hervor.

Um der Betrachtung dieses Gebildes eine bestimmte Unterlage zu geben, theile ich in Figur 20 die Constructionszeichnung der schon oben benutzten Hemisphäre vom Embryo *Ha* mit. Es ist bei dieser Construction die mediale Hemisphärenwand entfernt gedacht, man sieht daher direct auf die laterale Wand des Seitenventrikels, und der Streifenhügel zeichnet sich in deren unterer Hälfte als ein mit

---

späteren Tuber olfact. sitzendes, nach hinten und abwärts gerichtetes Kegelchen. Lateralwärts geht der Riechlappen durch eine scharfe bogenförmige Leiste in den Unterlappen über und begränzt mit demselben das Feld der späteren Subst. perforata anterior. Besonders Fig. 24 zeichnet letztere Bildung sehr anschaulich.

breiter Basis dem Höhlenboden aufsitzender Wulst. Das obere (späterhin hintere) Ende desselben verliert sich zu der Zeit noch ohne scharfe Umgränzung am Eingange in die hintere Hemisphärenhälfte, und es erreicht diese nahe an der Stelle, an welcher Zwischenhirn und Hemisphärenwand in einander übergehen. Letztere Stelle gewinnt später eine hervorragende Bedeutung für die Hemisphärenentwickelung, sie bleibt die eigentliche Verbindungsbrücke zwischen Seh- und Streifenhügelgebiet, und sie verdient mit dem besonderen Namen eines Streifenhügelstieles hervorgehoben zu werden. Alle andern

Fig. 20.

Laterale Wand des Hemisphärenhirns vom Embryo *Ha*. Bezeichnung wie bei Fig. 19. Constructionsbild. Vergr. 20.

Verbindungen des Streifenhügels mit dem Zwischenhirn sind nur mittelbar, denn seine Rückseite ist jener mächtigen Spalte zugekehrt, welche wir früher als Wurzelfurche der Augenblase kennen gelernt haben.

Die Basis des Streifenhügels ist sehr breit und sie erstreckt sich von dem vordern Rand der Augenblasenwurzel bis zum vordern Ende des Riechlappens. Entsprechend dem Verhalten der äusseren Furchen, scheidet sich die Basis des Streifenhügels in drei Abtheilungen, die wir als hintern, mittlern, und vordern Schenkel desselben bezeichnen können. Der hintere Schenkel entspricht dem unteren Ausläufer der Fossa Sylvii, er reicht bis in den Anfang des Trichterfortsatzes herab, er stösst an die Lamina

terminalis und bildet die vordere Wand der in die Augenwurzel hereinführenden Spalte. Der mitttere Schenkel des Streifenhügels ist breiter als der hintere, er tritt steil in den hinteren Theil des Riechlappens und bedingt jene Verengung seiner Lichtung, von welcher oben die Rede gewesen ist. Der vorderste Schenkel endlich ist schwächer als die beiden andern, er verläuft direct nach vorn und begränzt die Bulbushöhle von oben her, ihm entspricht an der Aussenfläche der vordere Ausläufer der Fossa Sylvii.

Seitenwand des dritten Ventrikels.

Wie dies oben gezeigt wurde, so bildet auf jungen Stufen die Wurzelspalte der Augenblase eine scharfe Abgränzung des dorsalen vom ventralen Endgebiete des Vorderhirnrohres, und diese Spalte setzt sich unter einem stumpfen Winkel in eine gegen das Mittelhirn gerichtete Längsfurche fort. Letztere Furche ist am Ende der vierten Woche erst andeutungsweise vorhanden, dann aber bildet sie sich rasch aus und hat am Ende der fünften Woche eine gewisse Tiefe erreicht, die bis gegen Ende des zweiten Monats noch erheblich zunimmt. In spätern Perioden des Fötallebens wird sie infolge secundärer Verwachsungen wieder seichter, aber sie verliert sich niemals vollständig, da man sie auch am ausgebildeten Gehirn erkennt als eine vom Aquäduct bis zum untern Ende des Foramen Monroi sich erstreckende Rinne. Eine treffliche Abbildung der betreffenden Rinne findet sich schon bei Burdach, ebenso geben sie manche der neuern anatomischen Lehrbücher gut wieder[1]). Reichert, welcher die embryonale Bedeutung derselben zuerst beachtet zu haben scheint, nennt sie den Sulcus Monroi. Nach Reichert[2]) scheidet der Sulcus Monroi das Sehhügelgebiet von der Trichterregion, eine Angabe, welche indessen nur dann zutrifft, wenn man der Trichterregion eine ungebührliche Ausdehnung zuschreibt. Henle[3]) bezeichnet die vom Sulcus Monroi getrennten Abschnitte der Zwischenhirnwand als Sehhügel und als Haubenregion. Noch zweckmässiger erscheint mir die Scheidung der

1) Reichert, Henle, W. Krause, Obersteiner u. A.

2) Nr. 15, Bd. II, S. 65.

3) Henle, Handbuch d. Anat. 1. Aufl. III. 2. S. 134.

seitlichen Zwischenhirnwand in eine Pars thalamica und subthalamica, welche letztere Bezeichnung bekanntlich von FOREL[1]) in die Wissenschaft eingeführt worden ist.

Nach vorn stösst der Sulcus Monroi auf zwei unter sich gleichfalls einen stumpfen Winkel bildende Furchen, auf die mehrfach erwähnte Wurzelfurche der Augenblase und auf die Furche, welche, zwischen Sehhügel und Streifenhügel durchgehend, in die hintere Hälfte des Seitenventrikels führt. Diese beiden Furchen sind nach vorn vom hinteren Schenkel des Streifenhügels begränzt.

Die Seitenwand der Zwischenhirnhöhle ist Anfangs concav gehöhlt, besonders in ihrer dorsalen Hälfte, allein schon zu Ende der

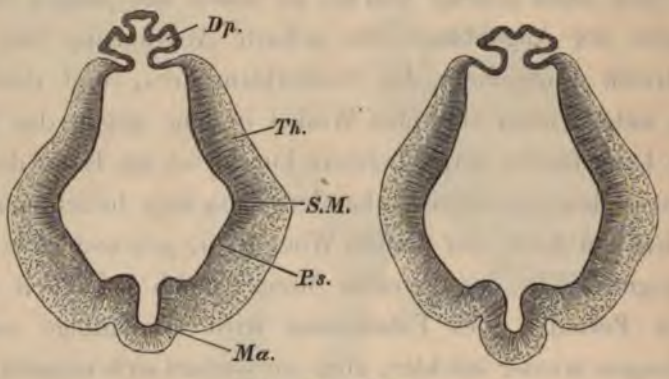


Fig. 21 und 22.

Durchschnitte durch das Zwischenhirn des fünfwöchentl. Embryo *Sch.* Vergr. 29. Fig. 21 etwas weiter hinten als Fig. 22 zeigt die Deckplatte zweitheilig, Fig. 22 dagegen dreitheilig.

fünften Woche bilden sowohl die Pars thalamica als die Pars subthalamica convex gegen die Lichtung hervortretende Längswülste. Ueber dem obern dieser Wülste verläuft der Decke entlang eine Längsfurche, auf deren Bedeutung ich gleich zurückkommen werde.

Die Decke des Zwischenhirns.

Zu Ende der vierten Woche ist die Zwischenhirndecke glatt, weiterhin beginnt sich ihr medianer Abschnitt etwas zuzuschärfen, und von da aus kommt es zur Ausbildung einer medianen Längsleiste, welche hinten einfach ist, weiter vorn in zwei und zuletzt

1) FOREL Nr. 16, S. 17.

sogar in drei Theilfalten auseinander geht. Die von ihrer Umgebung also sich sondernde Bildung, die sich in der Folge stark verdünnt, ist die Deckplatte des dritten Ventrikels und sie vermittelt den obern Abschluss der Höhlenwand. Wie andere Deckplatten, so bleibt auch diese zeitlebens epithelial. Nach vorn geht sie unter allmählicher Verbreiterung in die mediale Wand der Hemisphären bez. in die Adergeflechtplatte über. Zur Bildung des Plexus choriodei medii kommt es indessen sehr spät, jedenfalls nicht vor dem dritten Monat.

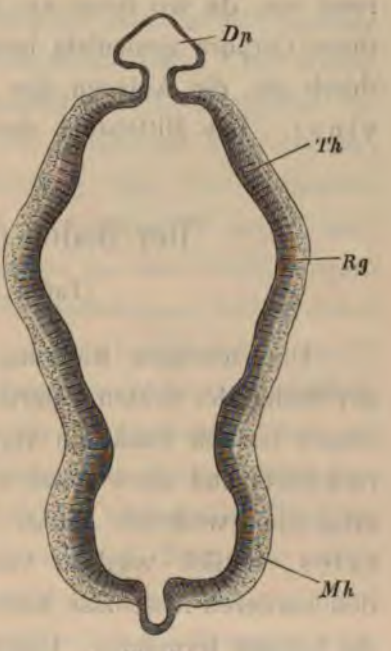


Fig. 23.

Schnitt annähernd parallel der Scheitelfläche vom Embryo *CR.* Der Schnitt trifft nur die obere Hälfte des Zwischenhirns und das Mittelhirn. Die Deckplatte ist in der Nähe ihres vorderen Endes getroffen.

Das Dach des dritten Ventrikels ist im Allgemeinen convex emporgewölbt. Der an das Mittelhirn anstossende Theil desselben zeigt sich schon vom Beginn der fünften Woche ab etwas mehr emporgetrieben als seine Umgebung und dorsalwärts durch eine Furche abgesetzt. Dieser emporgewölbte Theil des Zwischenhirndaches bezeichnet die erste Andeutung eines Zirbellappens.

Die weitere Entwickelung des Zirbellappens fällt in den Schluss der fünften und Beginn der sechsten Woche (Taf. I, Fig. 7). Jederseits von der medianen Epithelleiste wölbt sich die Wand etwas selbstständiger empor und bildet eine flache Falte, welche mit derjenigen der andern Seite, hinter der plötzlich aufhörenden Deckelplattenleiste vorbei, durch ein queres Mittelstück sich verbindet. Dies Mittelstück liefert die Zirbel und ihren Unterbau, das Tuberculum subpineale. Aus den Seitentheilen geht die Pars habenularis des Zirbellappens hervor (die Ganglia habenulae, die Laminae medullares und die Zirbelstiele).[1])

1) Schwalbe (Neurologie S. 468 u. 471) behandelt die Theile des Zirbellappens am ausgebildeten Menschenhirn sehr ausführlich: Er unterscheidet jederseits ein Trigonum habenulae und davor ein unpaares Tuberculum subpineale.

Hinter der Zirbelfalte staut sich weiterhin auch der vorderste Theil des Mittelhirndaches zu einer hufeisenförmigen Falte empor, welche mit zwei Seitenschenkeln auf das Zwischenhirn übergreift und den Zirbellappen umfasst. Diese vorderen Schenkel der hufeisenförmigen Falte laufen in der Seitenwand des Zwischenhirns divergirend aus, da wo diese am breitesten ist, d. h. im Gebiete der späteren Corpora geniculata lateralia, und sie charakterisiren sich dadurch als die Anlagen der Brachia anteriora und des Pulvinar. Das Mittelstück der Falte sind die vordern Vierhügel.

Der Boden des dritten Ventrikels.

(Taf. I, Fig. 5 und Fig. 6.)

Der schrägen Richtung der Vorderhirnaxe entsprechend, fällt der Boden des dritten Ventrikels schräg nach vorn ab, und er erreicht seinen tiefsten Punkt im vordern Theil des Trichterfortsatzes. Nach rückwärts und oben stösst er an zwei, den Mittelhirnboden lippenartig emporwölbende Wülste, die Haubenwülste oder Tori tegmentales, seitlich wird er von den Tori subthalamici eingefasst; den vorderen Abschluss bildet die Vorderwand des Trichterfortsatzes, die Lamina terminalis. Ueber dem vorderen Abschnitt des Ventrikelbodens gehen beiderseits die zur Augenblase führenden Spalten ab. Zwischen der Lamina terminalis und dem hinteren Ende des Riechlappens ist die Wand etwas eingezogen und die Stelle bezeichnet den Ort der späteren Commissura anterior. Die beiden Haubenwülste verlängern sich bis in den anstossenden Theil des Zwischenhirnbodens. Hier gehen sie eine mediane Verbindung ein, welche als breites Hufeisen, als Torus intermedius, gegen die Ventrikellichtung sich vorwölbt. In diesem Bereich ist die Wandung ziemlich dick, das übrige Bodengebiet bis zur Lamina terminalis hin ist im

---

Mit dem Trigonum verbunden sind die beiden Pedunkeln, welche ihrerseits in die Lamina pedunculorum superior übergehen. Unter dieser liegt der Recessus pinealis und dann folgt die Lamina conarii inferior, welche continuirlich in die hintere Commissur übergeht. Die von vorn an die Zirbelstiele herantretenden Striae medullares sind von gezackten Streifen grauer Substanz, den Taeniae ventriculi tertii, eingefasst.

Allgemeinen dünnwandig und es zerfällt in zwei Hauptabschnitte, deren jedem eine besondere Ausbuchtung entspricht. Es sind dies die Gebiete des Mammillarfortsatzes und des Trichterfortsatzes oder kürzer bezeichnet die Mammillarregion und die Trichterregion. Jene umfasst die der Sattelspalte zugekehrte Strecke des Ventrikelbodens, ihr hervorragendster Theil ist der auf die vordere Scheitelkrümmung der Basis folgende Mammillarfortsatz. Der Trichterregion gehört die der Schädelbasis aufliegende Bodenstrecke an, von der Lamina terminalis bis zu dem die Hypophyse umgreifenden Trichter im engern Sinn. Die Hauptrichtung des Ventrikelbodens bei aufgerichtetem Scheitel verläuft im Mammillartheil mehr oder minder steil; die Hauptrichtung des Bodens in der Trichterregion ist eine vorwiegend horizontale[1]). Beide Abtheilungen bilden daher miteinander einen Winkel, welcher beim jüngern Gehirn noch stumpf ist, gegen Ende des zweiten Monats einem rechten sich genähert hat, und schliesslich zu einem spitzen wird. Gegenüber der geringen Entwicklung, welche dem Zwischenhirn im ausgebildeten Gehirn zukommt, fällt es auf, wie umfänglich das Gebiet beim Embryo erscheint, und wie verwickelt hier seine Gestalt ist. Trotz der relativen Kürze des Ventrikelbodens im ausgebildeten Gehirn ist es nicht schwer, an einem Medianschnitte die fundamentale Gliederung wieder zu erkennen: Auf die Oeffnung des Aquäductes folgt auch beim Erwachsenen der convex in die Lichtung vorspringende Haubenwulst; unter diesem kommt das Corpus mammillare und dann, als steil abfallende dünne Platte, die Wand des Tuber cinereum. Am vorderen Ende dieses letztern ist der Eingang in den Hypophysentrichter, dann folgt das als scharfe Leiste in den Ventrikelboden einschneidende Chiasma und davor ein zweiter trichterförmig vertiefter Raum, der Recessus opticus neuerer Anatomen; die Vorderwand des letztern ist die Lamina terminalis. Das ganze Bodengebiet unterhalb der Comissura anterior und des C. mammillare hat die charakteristische Grundform eines dünnwandigen abgestutzten

1) Unter den älteren Abbildungen lassen besonders die Figuren von Reichert's Tafel XI den Gegensatz von Trichter- und Mammillartheil gut erkennen, Fig. 23 Hühnchen, Fig. 27 und 28 Katze, Fig. 29 Schwein. Letztere beiden zeigen auch die Abgrenzung der Tori pedunculares. In den entsprechenden Zeichnungen von Mihalkovics ist diese Partie durchweg etwas undeutlich gehalten.

Trichters, in dessen Boden von unten her das Chiasma sich eindrängt, denselben in einen vordern und hintern Blindsack, den Recessus opticus und den Recessus infundibuli oder Hypophysentrichter scheidend.

Die oben beschriebene Grundform der Trichtergegend im ausgebildeten Gehirn kommt derselben schon auf frühen embryonalen Stufen zu. Vom Beginn des zweiten Monats ab (Taf. I, Figg. 2, 5 und 8) zeigt der Trichterfortsatz, als Ganzes betrachtet, die Convergenz der vordern und hintern Wand und die schräg abgestutzte Grundfläche. Diese liegt Anfangs in ihrer ganzen Ausdehnung der Hypophysentasche an, als ob sie durch dieselbe eingedrückt worden wäre. Ueber der vorderen Ecke des abgestutzten Trichterbodens geht der Stiel der Augenblase ab, an der hinteren Ecke kommt es in der

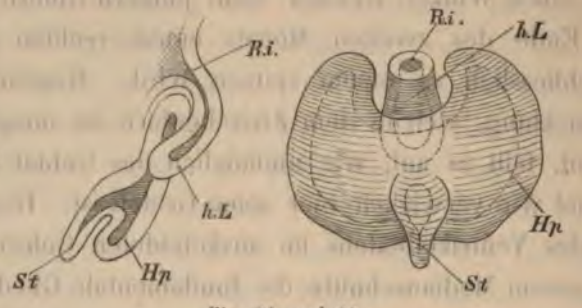


Fig. 24 und 25.

Hypophysenanlagen vom Embryo *Zr* (achte Woche). Constructionsfiguren von vorn und von der Seite. *R.i.* Trichter in den hinteren Lappen *h.L.* sich fortsetzend, *St* Stiel in die Vorderwand der Hypophyse sich inserirend.

fünften Woche zur Bildung des eigentlichen Hypophysentrichters. Auch die innerliche Scheidung des Trichterfortsatzes in einen Recessus opticus und einen Recessus infundibuli erscheint frühzeitig eingeleitet, indem die vorderen Enden der Tori subthalamici in schräger Richtung den Boden des Fortsatzes erreichen und demselben sich einfügen. Die Stelle wo diese Einfügung geschieht, bezeichnet den Ort, wo in der Folge die Opticusfasern beider Seiten sich kreuzen.

Ueber die Bildung des Hypophysentrichters und der Hypophyse liegen die bekannten, am Kaninchen angestellten Beobachtungen von Mihalkovics vor, welche ich der Hauptsache nach auch für den Menschen bestätigen kann, nur in wenigen Einzelheiten davon abweichend. Im Beginn der fünften Woche stösst das blinde Ende der Hypophysentasche an die hintere Ecke des Trichterfortsatzes an,

beide liegen am Eingang der Sattelspalte, nahe vor der Stelle der grössten Brückenkrümmung. Die Hypophysentasche wächst in zwei getrennte Hörner aus, welche jene vorspringende Gehirnstelle zwischen sich fassen, rechts und links davon sich etwas erhebend. Nunmehr wird auch die fragliche Ecke des Trichterfortsatzes zu einem selbstständigen Hohlkörper, welcher durch den obern Einschnitt der Hypophysentasche hindurchtritt, dann, hakenförmig sich umbiegend, deren Rückfläche erreicht und etwa in deren halber Höhe blind ausläuft.

Der Stiel der Hypophysentasche inserirt sich an deren Vorderfläche. Eine endständige Anfügung desselben finde ich nur auf jungen Stufen, später liegt die Einmündung des Stiels in die Tasche über dem unteren Rande des Hauptkörpers, um weniges tiefer als das untere Ende des Trichterblindsackes. Bei Betrachtung der successiven Gestaltungen von Ventrikelboden und Hypophyse drängt sich unmittelbar die Vorstellung auf, dass man es hierbei mit einer Reihenfolge gegenseitiger mechanischer Beeinflussungen zu thun habe: Die beiden sich begegnenden Theile hemmen ein jeder den andern in seiner Ausdehnung, und es schmiegt sich die Form des Hypophysensackes derjenigen des Gehirnbodens an und umgekehrt.

Der Querschnitt der Hypophysentasche zeigt diese als eine hufeisenförmig gekrümmte Querspalte mit nach vorn gekehrten Rändern. In der unteren Hälfte liegt der Stiel wie eine aufgesetzte Längsleiste der Mitte der Aushöhlung an. Die beiden Seitenränder der Tasche umgreifen jederseits den Gehirnboden. In der zweiten Hälfte des zweiten Monats beginnt die Epithelwand, und zwar zuerst an der dem Gehirn zugewendeten Fläche der Seitentheile, zahlreiche kurze Sprossen zu treiben, ein Vorgang, der dann späterhin auch am Mittelstück Platz greift. Das Organ bekommt dadurch einen gelappten Bau und die Haupthöhle verengt sich infolge der Wucherung ihrer Wand. Der definitive Schluss der Höhle scheint im Laufe des dritten Monats zu erfolgen.

Der Mammillartheil des Zwischenhirnbodens wird an seinem oberen Ende von den Haubenwülsten und von dem dieselben verbindenden Torus intermedius überragt (Taf. I, Fig. 5 u. 6). Nach aussen, gegen die Sattelspalte, tritt er als convexer Höcker hervor und setzt sich an seinem unteren Ende durch eine seichte Einbiegung vom Trichtergebiet ab. Bis zum Ende der vierten Woche läuft

die Ventrikellichtung in eine einfache breite Rinne aus, dann aber theilt sich die letztere durch zwei einspringende Falten in drei neben einander herlaufende Längsrinnen. Die mittlere von diesen Rinnen ist in der oberen Hälfte der Region sehr tief, und indem sie sich unter dem Torus intermedius gablig spaltet, verlängern sich ihre Fortsetzungen jederseits bis zum Seitenrand der Haubenwülste. In der unteren Hälfte der Mammillargegend sind die Seitenfurchen stark ausgebildet, die mittlere schwindet sogar auf kurze Strecke und wird durch eine flache Längsleiste ersetzt. Nach abwärts treffen dann sämmtliche drei Furchen am Trichtereingang zusammen (Taf. I, Fig. 6).

Dem Gesagten zufolge besitzt die Rückwand des dritten Ventrikels beim fünfwöchentlichen Embryo eine recht complicirte Modellirung. Von Aussen betrachtet (Taf. I, Fig. 4) zeichnet sich oben der stark hervorragende Mammillarhöcker. Er geht nach oben und vorn in zwei divergirende Wülste aus, die nachher zu besprechenden Arcus intermedii. Ueber ihm liegt eine tiefe, der vorderen Scheitelkrümmung entsprechende Grube, die Fossa supramammillaris. Unter dem Mammillarhöcker folgt ein erst breiter und dann wieder schmaler werdender faltiger Sack, der bis zum Rand der Hypophyse herabreicht und in seiner Ausdehnung dem späteren Tuber cinereum entspricht. Letzterer Theil gehört sonach der Hauptsache nach dem Mammillarbezirk der Ventrikelwand an, und nur sein unterstes Ende fällt in den Bereich der Trichterregion. Die Grenze beider Regionen findet sich in der am Abgang des Hypophysentrichters vorhandenen Einziehung der Wand.

Auf dieser Stufe embryonaler Gestaltung bietet der Boden des Zwischenhirns ganz bestimmte Vergleichspunkte mit dem Fischhirn. An diesem folgen, caudalwärts von dem durch seine flache Anlagerung an die Hypophyse charakterisirten Trichtergebiet die beiden Lobi inferiores und der Saccus vasculosus (s. o. Fig. 4, S. 8). Soweit ohne Specialuntersuchung aus der äusseren Vergleichung Schlüsse gezogen werden dürfen, so glaube ich, dass die Lobi inferiores als lappenartig hervortretende Ausladungen der Pars subthalamica des Zwischenhirns zu deuten sind, während der Saccus vasculosus der medianen Strecke der Mammillarregion, bez. dem Mammillarhöcker, vielleicht auch noch dem Tuber cinereum entspricht. Den Gefässsack einfach zum Trichter zu schlagen, halte ich nicht für richtig,

denn der letztere endet am hinteren Rand der Hypophyse, während der Gefässsack über derselben und caudalwärts davon in eben der Gegend der Ventrikelwand liegt, welche oben als Mammillarregion definirt worden ist. Käme es beim menschlichen Embryo, statt zu einer zunehmenden Verengerung des betreffenden Ventrikelraumes, zu einem ausgiebigen Wachsthum der epithelialen Wandbestandtheile, so würde sich auch bei ihm ein dünnwandiger, mehr oder minder complicirt gefalteter Sack bilden, der seinen Ausgangspunkt über und hinter der Hypophyse hätte.

Die Seitenfläche des Zwischenhirns.

Die Raumbeschränkung, welche das Zwischenhirn durch die sich entwickelnden Hemisphären erfährt, führt zu einer keilförmigen Zuschärfung seiner vorderen Hälfte. Es entwickeln sich hier zwei schräg nach vorn gerichtete Flächen, die Vorderflächen des Sehhügels, welche mit einander einen spitzen Winkel, den vorderen Thalamuswinkel von Schwalbe, einschliessen. Die Vorderflächen des Sehhügels werden concav eingebogen, ihre hinteren divergenten Ränder erstrecken sich bis zur Stelle der grössten Breite des Zwischenhirns. Dahinter verjüngt sich der Querdurchmesser des Rohres bis zur Grenze des Mittelhirns. Von oben gesehen bilden daher die hintere und die vordere Hälfte des Sehhügels mit einander einen stumpfen Winkel, Schwalbe's seitlichen Thalamuswinkel. Die Einschnürung, welche das Zwischenhirn vom Mittelhirn trennt, oder der Hals des Zwischenhirns verläuft schräg zur Gehirnaxe. Oben greift sie in das Gebiet des Mittelhirns über, indem sie hinter der oben erwähnten Hufeisenfalte vorbeiführt, unten läuft sie in die unter das Zwischenhirn vorgeschobene vordere Scheitelkrümmung oder in die Fossa supramammillaris aus.

Wird die Hemisphäre an ihrer Wurzel vom Zwischenhirn abgelöst, so erscheint der vordere Rand des Sehhügels als eine concave Linie, welche vom vorderen Ende der Deckplatte des dritten Ventrikels in einem etwas zurückweichenden Bogen nach dem Stiel des Streifenhügels herabsteigt. Längs dieser Linie findet der Umschlag der Sehhügelwand in die mediale Wand der Hemisphäre statt. Der Stiel selber vermittelt, wie wir früher sahen, die directe Ver-

bindung des Sehhügels mit dem Streifenhügel, welche Theile im Uebrigen völlig von einander getrennt sind.

Das von der Hemisphäre eingedrückte Feld der Regio thalamica wird von einem convex sich hervorwölbenden Bogen, dem Arcus thalami, umfasst, welcher vorn an der Ventrikeldecke seinen Anfang nimmt, dann das Gebiet des seitlichen Thalamuswinkels mit umschliesst und mit seinem unteren Ende in der Seitenwand des Trichterfortsatzes ausläuft, hier mit der Wurzelleiste der Augenblase zusammenhängend. Während die concave Vorderwand des Thalamus in der Folge mit der anliegenden Hemisphärenwand

Fig. 26.

Seitenansicht vom Gehirn eines menschlichen Fötus von 42 mm SSl, nach Wegnahme der Hemisphären. Der Ort des Streifenhügels ist punktirt angegeben. Man sieht den Zirbellappen, das Tuberculum anterius, den lateralen und den etwas tiefer liegenden medialen Kniehöcker. Das hinter dem Stiel des Streifenhügels liegende senkrecht schraffirte Feld bezeichnet die Stelle secundärer Verwachsung von Seh- und Streifenhügel.

verwächst, bleibt das Bogengebiet in seiner ganzen Ausdehnung frei und es enthält die Anlagen zu den verschiedenen oberflächlich gelegenen Theilen des Sehhügels. In dem der Ventrikeldecke angehörigen Theil des Thalamusbogens finden wir den früher besprochenen Zirbellappen und vor demselben als eine besondere Auftreibung die Anlage des Tuberculum anterius. Der vorspringendste Theil des Bogens bezeichnet das Gebiet des Corpus geniculatum laterale. Die von hier aus schräg nach rückwärts zum vordern Vierhügel sich erstreckende Kante entspricht dem Pulvinar und dem Brachium anterius. Der untere Theil des Thalamusbogens

greift bereits in die Regio subthalamica über und er umfasst das Endgebiet des Hirnschenkels. Schräg nach unten und hinten vom Arcus thalami liegt der Mammillartheil des Zwischenhirns; das Tuber cinereum ist durch eine im Allgemeinen tiefe Grube abgesetzt, die nur an einer Stelle durch eine flache Leiste unterbrochen erscheint. Der eigentliche Mammillarhöcker dagegen steht mit dem Thalamusbogen durch einen nach aufwärts convexen Wulst in Verbindung. Die Stelle, wo dieser Wulst dem Bogen sich einfügt, entspricht dem Ort des medialen Kniehöckers (Taf. I, Fig. 4).

Umbildung des Grosshirns vom Beginn der sechsten Woche bis zum Schluss des zweiten Monats.

Im Bisherigen ist die Entwickelung des Grosshirns bis zum Schluss der fünften Woche (Embryonen von 13—14 mm NL.) verfolgt worden. Diese Stufe eignet sich deshalb zur Ausgangsstation der Betrachtung, weil bei ihr die verschiedenen primären Anlagen der Theile wohl ausgeprägt und noch durchweg von einander gesondert sind. Auch besteht bis zu der Zeit die allgemeine Correspondenz innerer und äusserer Oberflächen. Zwar ist die Wand des Hirnrohres schon stellenweise verdickt, stellenweise verdünnt, ein absoluter Parallelismus innerer und äusserer Oberflächen darf somit nicht mehr erwartet werden, wohl aber entspricht noch einer jeden äusseren Grube eine innere Hervortreibung der Wand, jedem äusseren Wulst eine innere Furche.

In der nun folgenden Periode verwischt sich die primitive Gestaltung der Theile durch eine Reihe secundärer Vorgänge. Es nimmt im Allgemeinen die Wanddicke zu, vor Allem durch Vermehrung der Anlagen von weisser Substanz. Diese bilden Belegschichten und Ausfüllungsmassen von stellenweise beträchtlicher Mächtigkeit. Einzelne Formgebilde, wie z. B. die Streifenhügel, treten infolge davon viel bestimmter aus ihrer Umgebung hervor, andere dagegen verlieren die bisherige Oberflächenmodellirung oder können selbst, nachdem sie bis dahin frei lagen, in der Dicke der Wand verschwinden. Eine besondere Rolle spielen auch die Verlöthungen ursprünglich getrennter Oberflächen. Durch eine solche secundäre Verlöthung entsteht noch innerhalb des zweiten Monats die Commis-

sura mollis, ferner verlöthet der tiefe Abschnitt des Streifenhügels dorsalwärts mit der Regio subthalamica des Zwischenhirns, medialwärts mit der aus der Sichelfalte entstandenen medianen Wandplatte. Diese und die verwandten Vorgänge sind weiterhin im Einzelnen durchzuprüfen.

Die Grössenzunahme der Hemisphären übt selbstverständlich einen bedeutsamen Einfluss auf die Form des Gesammtorganes aus, und insbesondere wirkt sie bestimmend auf das anstossende Zwischenhirn, das von beiden Seiten her eingeschlossen in seiner Raumentfaltung beschränkt wird. Mit der Grössenzunahme der Hemisphären combinirt sich eine Drehung derselben um den Streifenhügelstiel als Axe und eine Veränderung ihrer ursprünglichen Grundform. Noch gegen Ende der vierten Woche war die Stellung der Hemisphären steil aufgerichtet und ihr längster Durchmesser schnitt die Zwischenhirnaxe unter einem nahezu rechten Winkel. Mehr und mehr senkt sich die hintere Hemisphärenhälfte, bis ihr Grund dann schliesslich weit tiefer zu liegen kommt, als der Stiel, den sie ursprünglich überragt hatte. Diese Umgestaltung der Hemisphären findet ihren besonderen Ausdruck in der Form, welche der Streifenhügel annimmt. Aus einem beinahe dreieckigen Wulst mit hochstehender hinterer Ecke wird im Lauf des zweiten Monats eine den Stiel umgreifende beinahe kreisförmig gebogene Spange, deren hinteres Ende ebenso tief zur Basis herabreicht, als das vordere.

Die Gliederung von der medialen Wand des Hemisphärenhirns.

Am Ende der fünften Woche zeigt die mediale Hemisphärenwand folgende Gliederung: Die breit angelegte Bogenfurche scheidet den peripherischen Streifen des Mantelgebietes von einem inneren Felde, das wir mit Burdach als Kerngebiet bezeichnen können[1]). Die Bogenfurche beginnt vorn zwischen den beiden Abtheilungen des Riechlappens, und an sie tritt der Olfactorius als dicker, in der

1) Burdach Nr. 18, S. 154. Das was oben als Kerngebiet bezeichnet wird, umfasst noch etwas mehr als das Burdach'sche, insofern noch bestimmte, frei bleibende Theile des Riechlappens dazu gehören.

verlängerten Richtung der Furche von der Nasenhöhle her kommender Stamm (S. 25, Fig 19). Vom Riechlappen aus steigt die Furche ununterbrochen scheitelwärts empor, sie pflegt dabei allmählich seichter zu werden und in der Nähe des oberen Hemisphärenrandes sich zu verlieren. Die hintere Bogenfurche oder der Sulcus hippocampi entsteht unabhängig von der vorderen, beide begegnen sich aber weiterhin am hinteren Ende der Adergeflechtfurche.

Das mediale Kerngebiet des Hemisphärenhirns umfasst zu innerst den Ventriculus impar und das Foramen Monroi. Dieses ist hinten durch den Stiel des Streifenhügels begrenzt, oben, vorn und unten durch den Saum, welcher die Hemisphären unter einander und mit dem Zwischenhirn verbindet. Auf diesen Saum folgt das Gebiet des Schmidt'schen Randbogens, innerhalb dessen die Adergeflechtfurche liegt[1]).

Der Grenzsaum (Limbus medialis) des Hemisphärenhirns beginnt vor dem Recessus opticus des Trichterfortsatzes mit der Lamina terminalis und endet über dem Stiel des Streifenhügels, an den er sich unmittelbar anschliesst; er beschreibt eine unregelmässig gekrümmte Bogenlinie, an welcher wir zwei Abschnitte, einen vordern unteren und einen hintern oberen unterscheiden. Ersterer verbindet die beiden Hemisphären unter einander, für den letzteren gilt dies nur noch theilweise, zum grösseren Theil bildet er den Anschluss der Hemisphären an die beiderseitigen Umschlagsränder des Sehhügels. Zwischen der vorderen und der hinteren Hälfte tritt der Limbus nahe an die Bogenfurche heran und erfährt hier eine scharfe Knickung. Hiedurch zerfällt das zwischen Bogenfurche und Limbus gelegene Feld der medialen Wand in eine untere und eine obere Abtheilung, beide sind nur durch einen schmalen Zwischenstreifen

---

1) F. Schmidt Nr. 12, S. 54, dessen jüngste Embryonen allerdings schon aus dem Beginn des dritten Monats stammten, lässt zuerst den hinteren Theil der Bogenfurche oder die Fiss. hippocampi (*e* seiner Figuren) entstehen, dann eine mit ihr zusammentreffende Längsfurche (*f*, *f'*), deren hinterer Abschnitt der Fiss. occip. medialis entspricht, während das vordere Ende im Stirnhirn ausläuft. Der durch diese Furchen abgegrenzte Randbogen zerfällt weiterhin in einen äusseren Halbring, aus welchem Corpus fimbriatum, Stria tecta mit Fasciola cinerea und Stria alba werden, während der innere Halbring das Septum pellucidum und den Fornix liefert. Zwischen beiden entsteht das Corpus callosum.

mit einander verbunden. Die obere Abtheilung charakterisirt sich als Abgangsstelle der Adergeflechtplatte, ich bezeichne sie daher als Area chorioidea des Randbogens, die untere Abtheilung nenne ich nach ihrer Form die Area trapezoides.

Das Trapezfeld ist nach vorn vom unteren Ende der Bogenfurche (der Fissura prima) begrenzt, nach hinten von der Lamina terminalis, nach oben von einem sichelförmig gekrümmten Saum, den ich den Schnabelbogen, Arcus rostri, nennen werde. Die untere Grenze des Feldes fällt zusammen mit dem Boden des hinteren Riechlappens, wie denn sich überhaupt das Trapezfeld als diesem Gehirntheil zugehörig erweist.

Der Riechlappen am Gehirn des Erwachsenen.

Ehe ich in die Entwickelungsgeschichte des Riechlappens eintrete, muss ich das Verhalten dieses Hirntheiles beim Erwachsenen etwas eingehender auseinandersetzen, als dies in den Lehrbüchern zu geschehen pflegt. Ich kann mich dabei vielfach an Broca's[1]) inhaltsreiche Schrift über die Riechcentren des Säugethierhirns anlehnen, deren Ergebnisse in der deutschen Litteratur neuerdings durch Zuckerkandl[2]) zur Geltung gebracht worden sind. Ich beschränke mich in der nachfolgenden Besprechung auf den Riechlappen im engern Sinn, da für mich kein Grund vorliegt, den gesammten Ring des Broca'schen Gyrus limbicus zu behandeln.

Der, wie wir sahen, mit zwei getrennten Abtheilungen sich anlegende Riechlappen gestattet zeitlebens die Unterscheidung einer hinteren und einer vorderen Abtheilung. Die Theile, welche von den Lehrbüchern als Riechlappen zusammengefasst zu werden pflegen, das Trigonum, der Tractus und der Bulbus, sind Bestandtheile des vorderen Riechlappens. Zum hinteren Riechlappen gehören bestimmte Bezirke der Hirnbasis und der medialen Oberfläche.

Macht man an einem frischen Gehirn durch Auseinanderziehen der Nachbartheile das Gebiet der sog. Substantia perforata anterior frei, so nimmt man ein hinter dem Trigonum gelegenes, durch eine

1) Broca, Sur les centres olfactifs. Nr. 19.
2) Zuckerkandl, Ueber das Riechcentrum. Nr. 20.

Querfurche von diesem abgesetztes Feld von schräg viereckiger Begrenzung wahr (Espace quadrilatère von Broca). Lateralwärts wird dieses Feld von der sog. lateralen Olfactoriuswurzel eingesäumt, medialwärts von einem flachen, gegen die Lamina terminalis sich absetzenden Wulst, dessen Fortsetzung an die mediale Gehirnfläche tritt und in den Pedunculus corporis callosi übergeht. Zuckerkandl verwirft letzteren Namen als einen unzweckmässigen und schlägt vor, anstatt dessen von einem Gyrus subcallosus zu reden [1]).

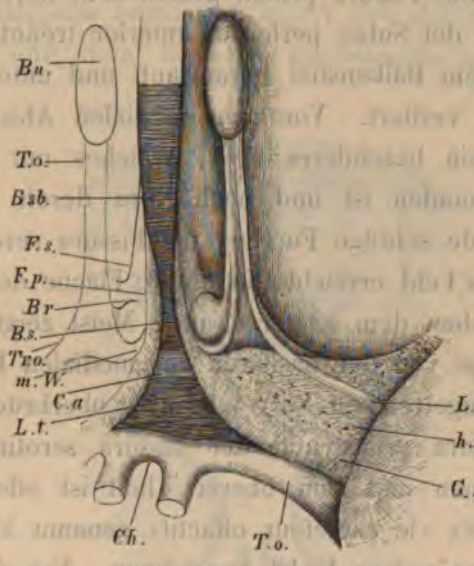


Fig. 27.

Riechlappen des menschlichen Gehirns nach einem frischen Präparat gezeichnet. *Bu.* Bulbus olf., *T.ol.* Tractus, *Tr.o.* Trigonum olf., *Bsb.* Balkenschnabel, *Bsl.* Balkenstiel, *Br.* Broca'sches Feld, *F.p.* Fissura prima, *F.s.* Fissura serotina, *C.a.* Ort der Comm. ant., *L.t.* Lamina terminalis, *Ch.* Chiasma opt., *T.o.* Tractus opticus, *G.s.* Ende des Gyrus subcallosus oder Balkenstiels, *h.Rl.* hinterer Riechlappen, *L.W.* Laterale Wurzel, *m.W.* mediale Wurzel des Riechnerven.

Das oben erwähnte viereckige Feld an der Basis, mit Inbegriff des auf die mediale Hirnfläche übergehenden Gyrus subcallosus, stellt den hinteren Riechlappen des erwachsenen Menschenhirns dar. Bei Säugethieren mit starken Riechlappen oder bei »osmatischen« Säugethieren nach Broca's Ausdruck tritt das viereckige Feld der Basis

1) Zuckerkandl l. c. S. 15 u. 60. — Broca giebt an, die untere Fortsetzung des Balkenstieles nur bei Paralytikern deutlich gesehen zu haben. Indessen finde ich sie auch an normalen Gehirnen, durch hellere Färbung erkennbar, und ich sehe, dass Zuckerkandl Taf. V, Fig. 38 dieselbe gleichfalls darstellt, wie sie schräg vor dem Tractus opticus vorbeizieht.

als graue Erhabenheit selbstständig über die Oberfläche empor. Auch erweist sich seine nicht unansehnliche graue Masse als unabhängig von derjenigen des Streifenhügels und ist durch eine weisse Substanzplatte davon geschieden. Sehr instructive Bilder gewährt, wie dies Broca betont, das Gehirn des Pferdes, bei dem bekanntlich auch die offene Verbindung zwischen dem Seitenventrikel und der Höhle des Riechlappens bleibend sich erhält.

Vom vorderen Lappen wird der hintere durch eine im Winkel geknickte Furche, die Fissura prima, geschieden, deren untere Hälfte das Trigonum von der Subst. perforata anterior trennt, während der obere Theil vor dem Balkenstiel heraufläuft und unterhalb des Balkenschnabels sich verliert. Vor dem medialen Abschnitt der Fissura prima liegt ein besonderes Feld, welches mit der Basis des Riechdreiecks verbunden ist und nach vorn durch eine vor dem Trigonum abgehende schräge Furche, die Fissura serotina, begrenzt wird. Auch dieses Feld erreicht die untere Fläche des Balkens, und die Fissur läuft neben dem letzteren aus. Meist zeigt sich die Furche am Uebergange von der basilaren zur medialen Fläche, infolge einer secundär eingetretenen Verwachsung, überbrückt. Das Feld zwischen der Fissura prima und der Fissura serotina gehört zum vorderen Riechlappen und sein oberer Theil ist offenbar identisch mit dem, was Broca »le carrefour olfactif« genannt hat. Ich werde dasselbe als Broca'sches Feld bezeichnen. Vor demselben liegt der Anfang des Gyrus fornicatus.

Stellen wir die obigen Ergebnisse zusammen, so umfasst der vordere Riechlappen des erwachsenen Menschenhirns Bulbus, Tractus und Trigonum olfactorium nebst dem Broca'schen Felde. Zum hinteren Lappen gehören der Balkenstiel oder Gyrus subcallosus und dasjenige Gebiet der Substantia perforata anterior, welches zwischen dessen Fortsetzung und der äusseren Wurzel des Riechnerven gelegen ist. Die Trennung beider Lappen geschieht durch die Fissura prima, welche hinter dem Trigonum und vor dem Balkenstiel vorbeigeht. Die mediale Wurzel des Riechnerven folgt dieser Furche.

Das primäre Verhalten des Riechnerven. Das Riechganglion und seine Entstehung.

Mit Ablauf der fünften Woche (bei Embryonen von 13—14 mm NL.) findet man den Riechnerven oder richtiger das Riechganglion als einen vor dem hinteren Riechlappen heraufsteigenden flachrunden, gegen das umgebende Mesodermgewebe scharf abgesetzten Stamm von 0,15—0,2 mm Durchmesser. Im Bereich des vorderen Riechlappens angelangt, lagert sich der Stamm in die zwischen diesem und dem hinteren Riechlappen befindliche Incisura

Fig. 28.

Schnitt durch das Vorderhirn vom Embryo *Sch.* Vergr. 25. Bezeichnungen wie in der Tafelerklärung. Links ist das Riechganglion von Mesodermgewebe umschlossen, hinter dem Bulbus und vor dem hinteren Riechlappen gelegen. Rechts sieht man Fortsetzungen desselben, welche den Bulbus umgreifen.

prima, in der er, vom Mesodermgewebe umschlossen, auf eine kurze Strecke verfolgbar ist. Dann hört er auf, und wie ich an meinen besseren Präparaten (denen vom Embryo *Sch*) constatiren kann, so umgreifen schon zu der Zeit seine Enden das freie oder Bulbusende des vorderen Riechlappens (Fig. 28 rechts). Sie erreichen dieses theils von unten, theils von der medialen Seite her, ein Theil der Faserzüge geht auch in transversaler Richtung hinter dem Bulbustheil vorbei.

Nach abwärts verläuft der Stamm, etwas dorsalwärts gekrümmt und in der verlängerten Richtung der Incisura prima gegen die Decke

der Nasenhöhle. Indem er sich derselben nähert, löst er sich in eine Anzahl von divergirenden, unter sich netzförmig verbundenen Aesten auf, welche der Kuppel der Höhle sich einfügen. Die verdickte Epithelschicht, welche mit den Zweigen des Riechnerven in Verbindung steht, werde ich als Riechplatte bezeichnen. Die Zweige des Riechnerven gehen nicht in radiärer, sondern in flacher, nahezu tangentialer Richtung von der Riechplatte ab. Die Länge des zwischen Riechplatte und dem Bulbus liegenden, vom Mesoderm umschlossenen Nervengebietes beträgt zu der Zeit kaum mehr als 0,4 mm.

Fig. 29.

Nasenhöhle und Riechganglion von Embryo *N*. Vergr. 70. *Gh*. Gehirn, *Nh*. Nasenhöhle, *O.g*. Olfactoriusganglion.

Im ganzen eben geschilderten Bereich enthält der Riechnerv ächte bipolare Nervenzellen und wir dürfen daher mit vollem Recht von einem Riechganglion sprechen, welches von der Riechplatte bis zum Bulbus sich erstreckt. Dies Ganglion bildet dem Obigen zufolge in seinem mittleren Theil einen geschlossenen Stamm, an seinen beiden Enden geht es in getrennte Stränge auseinander, die am Nasenende netzförmig unter sich verbunden sind.

Das Riechganglion ist nicht von Anfang ab vorhanden. Die frühesten Stufen desselben finde ich bei dem 10,9 mm langen Em-

bryo *N*. Auf dieser Stufe hat sich die bis dahin noch offene Riechgrube zu einer lateralwärts geschlossenen, von vorn und unten durch eine Spalte zugänglichen Höhle umgebildet. Den Grund der Höhle, bez. einen Theil ihrer medialen Wand bildet die Riechplatte, welche durch ihre Dicke (45—70 μ) von der übrigen epithelialen Bekleidung sich abhebt. Das Riechganglion stösst an die Riechplatte an, stellenweise mit dieser direct sich verbindend, stellenweise von ihr sich abhebend. Seine Zellen und Fasern sind zu einzelnen sich durchkreuzenden Strängen angeordnet, die Kerne der Riechnervenzellen sind blasser und grösser, als diejenigen der umgebenden Bindegewebszellen. Dieser Unterschied im Verhalten der Kerne, und das Vorhandensein von spaltartigen Zwischenräumen zwischen den einzelnen Faserbüscheln hat zur Folge, dass sich das Riechganglion, bei schwacher Vergrösserung gesehen, als hellerer Bezirk aus seiner Umgebung abhebt. Die reichlichsten Kerne finden sich in der Nähe der Riechplatte, während die dem Gehirn zugewandte Strecke daran ärmer ist. Das centrale Ende des Ganglions scheint bei diesem Embryo mit dem Gehirn noch keine Verbindung einzugehen.

Beim Zurückgreifen auf noch jüngere Entwickelungsstufen, auf Embryonen von 6—8 mm NL., finde ich in dem Raum zwischen Gehirn und Riechplatte weder Nerven- noch Ganglionanlage. Der Raum ist von einem gleichartigen Gewebe eingenommen, welches die bekannten Charaktere embryonalen Bindegewebes trägt. Dafür zeigt zu der Zeit die Riechplatte Eigenthümlichkeiten, welche eine besondere Besprechung verlangen:

Die Riechplatte besteht bei jüngeren Embryonen aus einer geschlossenen Lage von radiär gestellten Epithelzellen, deren jede die ganze Tiefe der Schicht einnimmt. Dazwischen liegen einzelne helle Keimzellen mit Mitosen. Von einem bestimmten Zeitpunkt ab nimmt die Menge der letzteren erheblich zu. Am reichlichsten liegen sie auch jetzt noch unter der freien Fläche der Epithelplatte, allein einzelne Zellen mit Mitosen schieben sich bis in die Nähe der mesodermalen Oberfläche vor.

Schon in den eben beschriebenen Verhältnissen zeigt sich eine gewisse Uebereinstimmung zwischen der Riechplatte und der Medullarplatte, allein diese Uebereinstimmung geht noch erheblich weiter: die während einiger Zeit reichlich sich erzeugenden Abkömmlinge

der Keimzellen rücken von der inneren, der Nasenhöhle zugewendeten, in die äussere, das Mesoderm berührende Lage der Riechplatte vor[1]). Sie häufen sich hier in gedrängten Massen an, eine Art von Mantelschicht bildend. Der Gegensatz im Kernreichthum der inneren und der äusseren Lage wird um so auffälliger, als sich der Keimzellenvorrath der inneren Lage weiterhin erschöpft und diese nun vorwiegend noch aus radiären Gerüstbalken gebildet erscheint.

Die von den Keimzellen abstammenden Elemente nehmen die Charaktere von Neuroblasten an, ihre Gestalt wird birnförmig, der stark gefärbte Zellenleib sitzt dem ovalen Kern einseitig an und geht

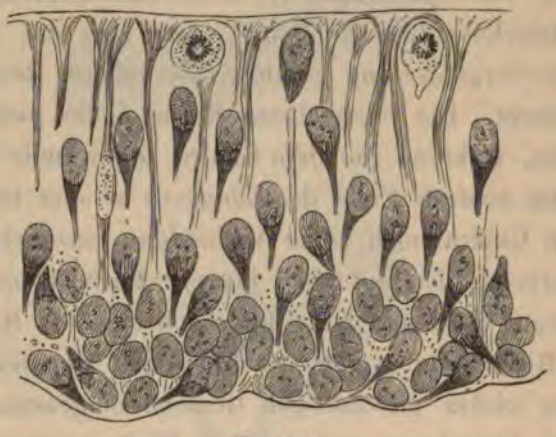


Fig. 30.

Durchschnitt durch die Riechplatte des ca. vierwöchentl. Embryo *T*. Vergr. 800. In der inneren Schicht sieht man Zellen mit Mitosen und Gerüstbalken, dann folgen Neuroblasten und zu äusserst eine dicht gedrängte Zellenlage, innerhalb deren einzelne Neuroblasten an ihrem Fortsatz erkennbar sind.

durch ein conisches Ansatzstück in einen fadenförmigen Fortsatz über. Die inneren Neuroblasten stehen annähernd radiär, die äusseren dagegen sind grösstentheils flach oder schräg gelagert, und da sie sich nach verschiedenen Richtungen durchkreuzen, so werden manche derselben von den senkrecht zur Oberfläche geführten Schnitten quer oder schräg getroffen und zeigen nur ihre Kerne. Beachtenswerth sind auch einzelne Zellen, welche ihren conischen Theil nach einwärts kehren. Die Neuroblasten der Riechplatte verbreiten

1) Ich brauche hier die Ausdrücke »innen und aussen« im gleichen Sinn, wie beim Medullarrohr, was ja insofern ganz gerechtfertigt ist, als diese Ausdrücke auf die Nasenhöhle bezogen werden können.

sich bis nahe an deren äussere Oberfläche, und indem sie sich stellenweise stärker anhäufen, erzeugen sie buckelige Hervortreibungen der letzteren. Sowohl diese Hervortreibungen, als die ungleiche Vertheilung der Kerne treten schon bei schwächeren Vergrösserungen (von 80—100fach) sehr bestimmt hervor: Mit unregelmässig welliger Grenzlinie setzt sich die Riechplatte gegen das anstossende Mesodermgewebe ab, und während die der Kopfwand zugekehrte äussere Plattenschicht infolge ihres Kernreichthums dunkel gefärbt erscheint, ist die an Kernen arme innere Schicht hell und durchscheinend.

Die in der Riechplatte gebildeten und zwischen deren Epithelzellen eingeschlossenen Neuroblasten treten weiterhin in das umgebende Mesodermgewebe über, und sie liefern die Anlage des Riechganglions. Dieser Zellenübergang fällt in den Beginn der fünften Woche, d. h. auf die Zeit, da die Embryonen eine Länge von 8—10 mm besitzen. Der Process selber hat nichts Ueberraschendes, denn auch aus der Medullarplatte können Nervenzellen, wenigstens vereinzelt, hervortreten. Ich verweise in dieser Hinsicht auf die an anderem Orte besprochenen Verhältnisse bei Plagiostomen, bei welchen ein Theil der zuerst entstandenen Neuroblasten das Rückenmark verlässt, um dann allerdings nachträglich wieder vom Randschleier umwachsen zu werden[1]). Das hemmende Moment für den Austritt der Neuroblasten aus dem Medullarrohr ist der engmaschige, aus den Epithelzellen hervorgegangene Randschleier, welcher die nach einwärts davon liegenden Zellen nicht durchlässt. Dieses hemmende Moment scheint bei der Riechplatte zu fehlen, denn an ihr kommt es nicht zur Bildung eines Randschleiers in der Form, wie er am Markrohr auftritt.

Für die eben beschriebene Stufe der Neuroblastenbildung innerhalb der Riechplatte hat mir der sehr frisch in meine Hände gelangte und in Rabl'scher Flüssigkeit fixirte, ca. vierwöchentliche Embryo *T* die vorzüglichsten Anschauungen gewährt. Für die darauf folgende Stufe der aus der Riechplatte hervortretenden Ganglienzellen muss ich mich an Embryonen von Katzen (von 8 mm. NL) halten. Hier finde ich an Schnitten, welche die Kuppel der Nasenhöhle

1) Nr. 24, S. 45 u. ff.

tangential treffen, dass von verschiedenen Stellen der letzteren Zellenstränge ausgehen, die im Allgemeinen in der Richtung nach dem Gehirn hin convergiren, unter einander netzförmige Verbindungen eingehend. Schliesslich sammeln sie sich zu einem Stämmchen, das dem Riechlappen in schräger Richtung sich nähert, ohne denselben zur Zeit zu erreichen. Es zeigt sich somit der Theil des Riechganglions angelegt, welcher mit der Riechplatte zusammenhängt, wogegen der Anschluss an das Gehirn noch fehlt. Der centralwärts gerichtete Ganglienstamm läuft als Stumpf in der Kopfwand frei aus.

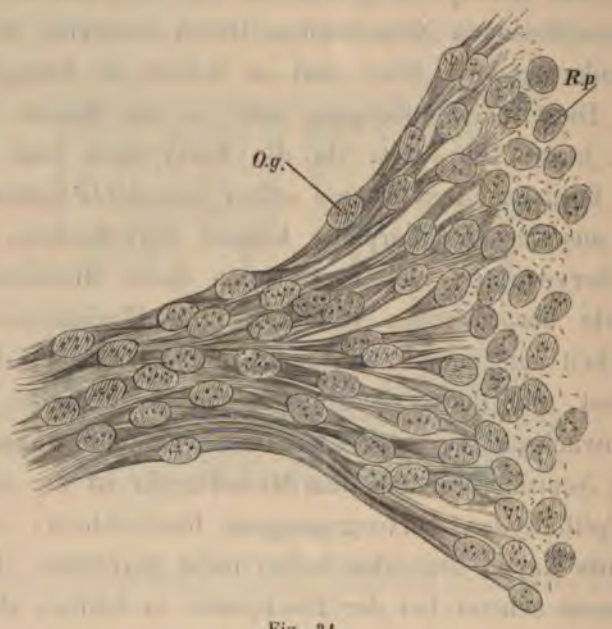


Fig. 34.

Riechplatte und Olfactoriusganglion vom Katzenembryo. Vergr. 800.

Das Riechganglion besteht zum überwiegenden Theil aus bipolaren Zellen. Ob auch einzelne unipolare Zellen in den an die Riechplatte anstossenden Abschnitten des Ganglions vorkommen, das muss ich wegen der Schwierigkeit der Beobachtung unentschieden fassen. Von den Bindegewebszellen unterscheiden sich die Nervenzellen durch ihren stark färbbaren, fibrillär gestreiften Leib, sowie durch ihre grösseren und blasseren Kerne. Unschwer lässt sich constatiren, dass diese Zellen nicht etwa zwischen den Nervenfasern liegen, sondern in deren unmittelbarer Continuität. Die Nervenfasern gehen von beiden Seiten her durch ein conisches Zwischenstück in

den Theil des Zellenleibes über, welcher den Kern umgiebt, und ihre fibrilläre Streifung setzt sich auf den Ansatzconus fort.

Ich fasse die obigen Ergebnisse zusammen:

1) Es giebt eine Periode, da der Zwischenraum zwischen dem Gehirn und der Riechplatte weder Nervenfasern noch Ganglienzellen enthält.

2) In der Riechplatte bilden sich, ähnlich wie in der Medullarplatte, Neuroblasten aus. Sie gehen aus mitotischen Keimzellen hervor und häufen sich weiterhin in den äusseren Schichten der Riechplatte an. So lange sie innerhalb der Riechplatte liegen, sind sie unipolar.

3) In unmittelbarem Anschluss an die Riechplatte entwickelt sich ein Ganglion, dessen Zellen in je zwei Nervenfasern, eine centrale und eine peripherische, sich verlängern. Dies Ganglion besteht in der Nähe der Riechplatte aus zahlreichen, unter sich netzförmig verbundenen Strängen, die mit Annäherung an das Gehirn zu einem Hauptstamm sich vereinigen.

4) Es giebt einen Zeitpunkt, wo ein mit der Riechplatte verbundenes Ganglion, bez. ein System von Nervenfasern und Nervenzellen existirt, welches mit dem Gehirn noch nicht in Zusammenhang steht.

Aus diesen verschiedenen Daten ist zu erschliessen, dass die Zellen, aus welchen der Riechnerv hervorgeht, in der Riechplatte entstehen. Von da aus in das mesodermale Kopfgewebe übertretend, bilden dieselben das Riechganglion, und dieses geht, verhältnissmässig spät, die Verbindung mit dem Gehirn ein.

Der Riechbulbus und seine Verbindung mit dem Ganglion olfactorium.

Durch die Ausbildung des breiten und tiefen Anfangstheiles der Bogenfurche, der Incisura prima, wie dieser Theil oben genannt wurde, hat der Riechlappen zu Ende der fünften Woche eine hufeisenförmige Gestalt angenommen (s. o. Fig. 27). Er ist lateralwärts convex und zeigt zwei nahezu quergestellte Endschenkel und ein mehr sagittal gerichtetes Verbindungsstück. Der eine etwas tiefer stehende von den Endschenkeln ist der hintere Riechlappen, aus

dem andern höher liegenden entwickeln sich die Theile des vorderen Lappens, der Riechbulbus, nebst Tractus und Trigonum. Der vordere Querschenkel wächst mehr und mehr in einen selbstständigen hohlen Fortsatz aus, dessen freies Ende nach abwärts und weiterhin dorsalwärts sich kehrt, derart, dass am Schluss des zweiten Monats die Spitze des Bulbus bis unter den hinteren Riechlappen sich vordrängt[1]) (s. u. Fig. 32 u. Fig. 35). Dies ändert sich später, im Laufe des dritten Monats kehrt sich das freie Ende des Riechbulbus wieder nach vorwärts.

Mit der selbstständigen Entwickelung des Bulbus kommt es auch zur Bildung einer über ihm in die mediale Wand einschneidenden Furche, der Fissura serotina, wie ich sie nennen werde. Gleich der Fissura prima geht sie nach aufwärts in die Bogenfurche über, und ihre Spuren sind noch am Gehirn des Erwachsenen vorhanden.

Indem sich der Bulbus in der oben angegebenen Weise zurückbiegt, kommt er in innigeren Contact mit dem oberen Theile des Riechganglions, d. h. mit dem ungetheilten, bis zur Fissura prima vorgeschobenen Stamm desselben. Der Bulbus drängt sich in den Ganglienstamm ein und bekommt von ihm einen mützenartigen Ueberzug. Von da ab besteht der Riechbulbus aus einem cerebralen und einem gangliösen Theil, deren verschiedenartige Natur an Durchschnitten auffallend genug sich bemerkbar macht. Die Ganglienanlage des Bulbus finden wir in der späteren Faser- und Knäuelschicht wieder, aus der cerebralen Anlage gehen die übrigen Schichten hervor.

Durch das Gesagte löst sich die Schwierigkeit, dass das Riechganglion in gewisser Zeit einen dicken ungetheilten Stamm besitzen kann, während doch das peripherische Olfactoriusgebiet einen solchen Stamm nicht aufweist, sondern statt seiner eine grössere Zahl von getrennt dem Bulbus eingefügten Fäden. Der ungetheilte Stamm geht in der Bildung des Bulbusüberzuges auf, und das spätere peripherische Gebiet beginnt erst mit den getrennten Strängen des ursprünglichen Riechganglions. Eine besonders klare Uebersicht über die Beziehungen des hakenförmig zurückgebogenen cerebralen Bulbus

---

1) Die Abwärts- und Dorsalwärtswendung des Riechlappens bei Embryonen des zweiten Monats hat schon Kölliker (Nr. 14, S. 19) gesehen.

zum Ganglienstamm und über das Verhalten von diesem zu den einzelnen von der Nasenhöhle heraufsteigenden Strängen gewähren Sagittalschnitte vom Ende des zweiten Monats, wie ich einen solchen in der beistehenden Fig. 32 abgebildet habe.

Der secundäre Anschluss des Riechganglions an das Gehirn ist eine sehr auffallende und unerwartete Thatsache. Gleichwohl ist dieser Vorgang nicht ohne jegliche Analogie im Bereich anderer Kopfnerven. Von der Anlage des G. acustico-faciale aus steigt, wie dies in einer Arbeit meines Sohnes beschrieben worden ist, ein Zel-

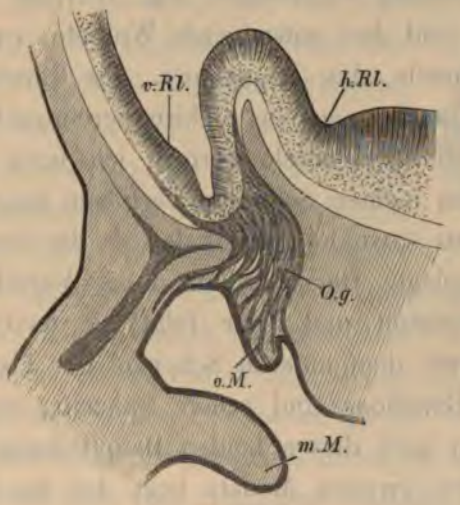


Fig. 32.

Sagittaler Durchschnitt durch den Kopf eines Embryo, achte Woche (*FM*). Vergr. 15. *o.M.* obere Muschel, *m.M.* mittlere Muschel, *v.Rl.* und *h.Rl.* vorderer und hinterer Riechlappen, *O.g.* Olfactoriusganglion.

lencomplex zum Gehirn herauf, der an dessen Oberfläche halt macht, hier ein mit dem Gehirn sich verklebendes Ganglion bildend[1]).

Von den Zellen des primären Riechganglions finden wir später einen grossen Theil in den Elementen des Bulbusüberzuges wieder. Diese Zellen, da sie ursprünglich in der Riechplatte entstanden sind, haben nicht unerhebliche Ortsverschiebungen erfahren und es stellt sich die Frage, ob sich nicht nach und nach alle Ganglienzellen nach dem Bulbus hinbegeben. Die Entscheidung hiervon liegt in der histologischen Beurtheilung des ausgebildeten Riechnerven: Wenn die in den Olfactoriusbündeln auftretenden Kerne durchweg den Zellen der Scheide angehören, so ist obige Frage zu bejahen. Erscheint

1) Nr. 26, S. 9 und Taf. II, Fig. 16.

aber ein Theil derselben den Nervenfasern selber verbunden, so ist der peripherische Olfactorius nicht nur zur Zeit seiner Bildung, sondern zeitlebens als Ganglion zu bezeichnen. Max Schultze, welcher den Riechnerven bei den verschiedenen Wirbelthierklassen ganz besonders eingehend studirt hat, behauptet ausdrücklich, dass die Kerne der peripherischen Riechnervenbündel nur den Scheiden angehören[1]) und diese Ansicht wird wohl seitdem allgemein für unanfechtbar gehalten.

Mit Feststellung der Herkunft des N. olfactorius ist auch der Charakter der im Tractus verlaufenden und jenseits vom Trigonum olfactorium auseinander weichenden sog. Wurzeln des Riechnerven entschieden. Es sind dies aufsteigende Wurzeln, welche, gleich den aufsteigenden Wurzeln des Trigeminus, des Glossopharyngeus und des Vagus vom Ganglion aus ins Gehirn hereinwachsen. Die detaillirte Geschichte dieser Wurzeln vermag ich noch nicht zu geben. Soweit ich dies an meinen Schnitten verfolgen kann, sind zu Ende des zweiten Monats sowohl die mediale, als die laterale Wurzel eine Strecke weit angelegt. Der Weg für diese Wurzeln ist durch die Fissura prima bestimmt und zwar folgt die mediale Wurzel dem oberen, die laterale dem unteren Schenkel der Fissur. Die oberen Endstränge des Ganglions sind schon frühzeitig so gerichtet, dass ihre Fortsetzungen nach diesen beiden Hauptbahnen hinführen.

Am Ende des zweiten Monats liegt der durch sein Verhalten zum Ganglienstamm charakterisirte Bulbus noch ganz nahe an der Stelle der Fissura prima, von wo aus die Wurzeln des Riechnerven auseinander weichen. Im Lauf des dritten Monats entfernt er sich aber mehr und mehr von dem angehefteten Wurzelstück des Vorderlappens. Letzteres wird nun zum Trigonum, das lang ausgezogene Verbindungsstück zwischen diesem und dem Bulbus gestaltet sich zum Tractus.

Streifenhügel und Seitenventrikel.

Zu Ende des zweiten Monats hat der frei liegende Theil des Streifenhügels eine charakteristische Form angenommen, die er auf längere Zeit hinaus bewahrt, bis dann schliesslich durch Verwachsung mit Nachbartheilen andere Verhältnisse eintreten. Als ein, sowohl in transversalem als in sagittalem Sinn stark gewölbter Wulst

1) Nr. 21, S. 64 und Nr. 22, S. 114.

tritt derselbe aus dem Boden des Seitenventrikels hervor, und er reicht mit seinem vorderen und mit seinem hinteren Ende tief zur Basis herab, während er in der Mitte am höchsten sich emporwölbt. Macht man durch Wegnahme der lateralen Hemisphärenwand den Streifenhügel von Aussen her frei, oder trennt man von Innen her den Sehhügel von demselben los, so bekommt man in beiden Fällen sehr klare Bilder von seiner gebogenen Grundform. Er bildet eine Spange, welche etwa drei Viertheile eines Kreisbogens beschreibt. Von Aussen gesehen, umfasst die Spange das Gebiet der Fossa Sylvii, bez. der Insel und des hinteren Riechlappens. Als inneres Centrum des Bogens erscheint der Stiel des Streifenhügels, an welchen sich nach abwärts die Verbindung mit der Pars subthalamica des Zwischenhirns anschliesst. Die Ansatzfläche des Streifenhügels steht schräg und bildet mit der Mittelebene einen Winkel, der zu Ende des zweiten Monats etwa 30° beträgt. Wie Schwalbe nachgewiesen hat, so nimmt dieser Winkel vom dritten Monat ab, eine Zeit lang zu und dann wiederum ab [1]).

Fig. 33.
Isolirter Streifenhügel eines m. Fötus von ca. $2^1/_2$ Monat von der medialen Seite her gesehen. Das vordere Ende zeigt die Spaltung in drei Schenkel. Vergr. 4f.

Die hintere Hälfte des Streifenhügels bildet eine einfache, schmale Convexleiste, welche sich vom Hemisphärenmantel beiderseits durch eine tiefe Furche absetzt, die vordere Hälfte dagegen theilt sich durch eine Furche in zwei divergirende Schenkel, einen medialen und einen lateralen, von denen der erstere weit stärker gekrümmt erscheint, als der letztere. Beide reichen indessen bis zur Basis herab und sind mit ihrer freien Fläche schräg nach vorn und ein-

1) Der oben bestimmte Ansatzwinkel des Streifenhügels ist gleich dem halben vorderen Thalamuswinkel von Schwalbe. Die jüngsten von Schwalbe gemessenen Embryonen waren schon $3^1/_2$—4 cm lang, gehörten also dem dritten Monat an. Bei ihnen betrug der halbe Thalamuswinkel 40°, also bedeutend mehr als zu Ende des zweiten Monats. Schwalbe stellt im Gegensatze zu Reichert, Mihalkovics und Kölliker eine secundäre Verwachsung des Sehhügels mit dem Streifenhügel in Abrede. Diese Angabe ist wohl nur durch die Benutzung zu alten Materials zu erklären. Die Fläche *a. b.* von Schwalbe's schematischer Figur darf nicht dem vorderen Rande des Thalamus opticus gleich gesetzt werden, da dieselbe ursprünglich zur freien Seitenfläche gehört hat. Der vordere Rand des Thalamus fällt an jener Figur in die Kante *a.*

wärts gekehrt[1]). Von den beiden Vorderschenkeln entspricht der laterale dem ursprünglich vorderen, der mediale dem ursprünglich mittleren und hinteren Schenkel des primären Streifenhügels. Die Trennungslinie der letzten beiden Abtheilungen ist noch an einer steilen Furche erkennbar, welche in die untere Hälfte des medialen Schenkels einschneidet. Der Fuss des medialen Schenkels wurzelt einerseits im Recessus opticus, anderseits im Recessus olfactorius, oder in der Grube des hinteren Riechlappens. Am Medianschnitt des embryonalen Gehirns pflegt ein schmaler Streifen des

Fig. 34.

Gehirn eines m. Fötus von ca. 42 mm SSl. Der Seitenventrikel ist von aussen her eröffnet, man sieht an der Basis den stark gewölbten Streifenhügel, welcher die Fossa Sylvii im Bogen umspannt. Vergr. 5.

medialen Streifenhügelschenkels noch frei hervorzutreten, der grössere Theil des letzteren, sowie der ganze laterale Schenkel sind von der Sichelfalte überlagert. Auch beginnt von der siebenten Woche

---

1) Die zweigetheilte Grundform, welche der vorderen Hälfte des Streifenhügels von der zweiten Hälfte des zweiten Monats ab zukommt, und die sich späterhin sehr allmählich, und nicht vor dem fünften Monat verliert, ist schon von TIEDEMANN in mehreren seiner Figuren vortrefflich dargestellt worden (l. c. Taf. I, Fig. 8, Taf. II, Fig. 5, Taf. IV, Fig. 1), auch spricht dieser Forscher davon im Text, wenn auch nur nebenher (l. c. S. 21). Auch neuere Autoren (MIHALKOVICS Taf. I, Fig. 11, KÖLLIKER Entwg. Fig. 332, S. 534) zeichnen den Streifenhügel vorn zweitheilig, ohne auf dies Verhalten ein besonderes Gewicht zu legen.

ab im hinteren Bereiche der Area trapezoides die Sichelfalte mit dem sie berührenden Theil des Streifenhügels zu verschmelzen, so dass von dieser Zeit ab der letztere nicht mehr bis unten hin isolirbar ist.

Der laterale Schenkel des Streifenhügels reicht erheblich weiter nach vorn, als der mediale, und während dieser im hinteren Riechlappen ausläuft, erstreckt sich jener bis an das Ende des vorderen Riechlappens und er verjüngt von oben her den Zugang in dessen Höhlung. Die Rinne zwischen den beiden Streifenhügelschenkeln läuft mit ihrem unteren Ende medialwärts in die Höhle des vorde-

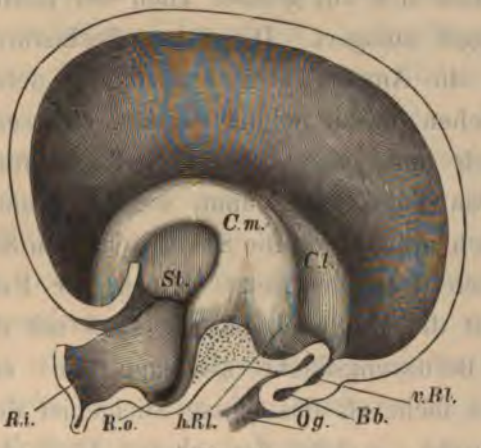


Fig. 35.

Seitenventrikel eines m. Fötus (*Lo*) vom Beginn des dritten Monats. Constructionsfigur. Vergr. 8. Man sieht die beiden Schenkel des Streifenhügels, von denen der mediale aus dem früher hinteren und mittleren Schenkel zusammengesetzt ist. *C.l.* Crus laterale und *C.m.* Crus mediale. Die Rinne zwischen dem Crus mediale und laterale öffnet sich in diejenige des vorderen Riechlappens.

ren Riechlappens aus. Der der medialen Ventrikelwand zugewandte Theil der Streifenhügelrinne nimmt den an der Basis breiten Faltenwulst der Incisura prima in sich auf.

Die früher beschriebene primäre Form des Streifenhügels ist von der eben betrachteten besonders dadurch unterschieden, dass sie noch einer hinteren Hälfte entbehrt und dass der vordere Schenkel nach vorn, statt nach abwärts sich wendet. Die Verschiebung des vorderen oder lateralen Schenkels ist eine Folge von der Umgestaltung des vorderen Riechlappens. Indem dieser nach unten auswächst und sich in den dorsalwärts sich kehrenden Bulbus verlängert, biegt sich auch der ihn begrenzende Wulst der Ventrikelwand nach unten und nimmt so eine stärkere Krümmung an. Die Ausbildung

der hinteren Hälfte des Streifenhügels vollzieht sich in eben dem Maasse, als der Hemisphärenmantel selber über den Sehhügel hinweg nach hinten sich ausdehnt. Ursprünglich liegt der Stiel des Streifenhügels am hinteren Ende der Hemisphäre, dann rückt ein grosser Theil der letzteren über den Stiel hinaus, umgreift ihn von oben, von rückwärts und zuletzt sogar von unten her, und dem entsprechend wird auch der vom Ventrikelboden ausgehende Wulst immer länger, bis er dann schliesslich einen grossen Bogen um den Stiel herum beschreibt.

Die zunehmende Ausdehnung der hinteren Hemisphärenhälfte hat zur Folge, dass sich ein grosser Theil der medialen Wand seitlich dem Sehhügel anlagert. Die Adergeflechtsfurche kommt zum grösseren Theil, die Ammonsfurche vollständig neben den letzteren zu liegen. Zwischen diesen beiden Furchen einerseits und dem Stiel des Streifenhügels andererseits ist ein halbmondförmig umgrenztes Blatt der medialen Wand ausgespannt, welches, vom Umschlagsrande des Sehhügels sich abbiegend, die Spalte zwischen Seh- und Streifenhügel ursprünglich frei durchsetzt. Noch vor Ende des zweiten Monats verwächst dies halbmondförmige Blatt mit den anstossenden Gebilden. Die Berührungsfläche zwischen Seh- und Streifenhügel umfasst nun weit mehr als das blosse Stielgebiet des Streifenhügels, und aus der Furche, welche den oberen Theil der beiden Hügel trennt, erhebt sich als Rest des früher ausgedehnteren Wandstreifens ein dünnes Blatt, das sich in den hinteren Theil der Adergeflechtplatte fortsetzt. Die Furche auf der Grenze von Seh- und Streifenhügel bleibt übrigens, wie man weiss, im fötalen Gehirn durch lange Zeit hindurch sehr tief und füllt sich erst nachträglich mit jenem Gewebe aus, das die Grundlage der Stria cornea bildet. Mit Rücksicht auf die spätere Umbildung dieser Gegend kann man die Furche zwischen Seh- und Streifenhügel als den Sulcus striae corneae und den aus ihr hervortretenden Wandsaum als Limbus striae corneae bezeichnen.

Mit der stärkeren Ausbildung der Bogenfurche und ihres hinteren Abschnitts, der Ammonsfurche, treten an der Ventrikelfläche der medialen Wand jene Falten bestimmter hervor, welche als erste Anlagen des Ammonshornes und des Fornix zu betrachten sind. An Gehirnen des dritten Monats finde ich übrigens nach Wegnahme der

lateralen Hemisphärenwand und des Adergeflechtkörpers ein dorsalwärts sich ausbreitendes System fächerförmig angeordneter Falten, welche nach vorn alle in der Bogenfalte zusammenlaufen (s. o. Fig. 34). Ich glaube nicht, dass man dieses Verhalten als blosse Zufälligkeit deuten darf, denn auch am ausgebildeten Gehirn finden sich noch Reste davon. Präparirt man beim Erwachsenen die mediale Wand des Hinter- und des Unterhorns von der lateralen Seite her, so gelangt man zur Anschauung eines nach vorn convergirenden Faltensystems, in welches das Ammonshorn und der Calcar avis als einzelne Glieder sich einreihen.

Die Adergeflechtplatte hat zu Ende des zweiten Monats eine sehr bedeutende Ausdehnung gewonnen, mit zahlreichen Falten erfüllt sie die Ventrikellichtung, und von der Hirnsichel aus dringen reichliche Gefässe in die Spalträume derselben ein. Nach Wegnahme der lateralen Ventrikelwand stellt sich die gesammte Bildung als ein lappiger Körper dar, welcher den Streifenhügel von oben und von hinten her umgreift. Seine grösste Ausdehnung erreicht der Adergeflechtkörper in dem Raum hinter dem Streifenhügel oder im späteren Cornu descendens des Seitenventrikels. In die Höhlung vor dem Streifenhügel oder in das eigentliche Vorderhorn des Ventrikels dringt derselbe nicht ein. Vor dem vorderen Ende des Sehhügels und über dem Monroi'schen Loch hängen die beiderseitigen Adergeflechtkörper vermittelst eines umfänglichen hufeisenförmig gebogenen Querstückes unter einander zusammen und hier verbinden sie sich auch mit der Deckplatte des dritten Ventrikels.

Die Regio thalamica.

Die Aussenfläche der Regio thalamica behält die Charaktere, welche wir für den Schluss der fünften Woche kennen gelernt hatten, im Wesentlichen bis in den dritten Monat hinein. Einzelne Bildungen, wie die Zirbel und die Kniehöcker, treten etwas bestimmter hervor, während andererseits die Modellirung an der Basis des Zwischenhirns sich eher etwas vereinfacht. Auch wird die Gestalt des gesammten Zwischenhirns in dieser Zeit gedrungener, der Querdurchmesser grösser, der Längsdurchmesser relativ geringer. Es ist dies Verhalten zum Theil auf eine Zusammenschiebung der Gebilde

des Zwischenhirns in sagittalem Sinn zurückzuführen, zum Theil aber auch auf eine zunehmende Verdickung seiner Wandungen.

Bedeutender als an der Aussenfläche des Zwischenhirns sind die Umgestaltungen an der dem dritten Ventrikel zugekehrten Fläche. Die vom Streifenhügel nach Innen gedrängte Vorderwand des Sehhügels bildet hier einen ovalen flachen Wulst, den Thalamuswulst (Tuber thalamicum), welcher bei fortschreitendem Wachsthum mehr und mehr gegen die Ventrikellichtung vorspringt und diese zu einer schmalen Spalte umwandelt. Noch vor Ende des zweiten

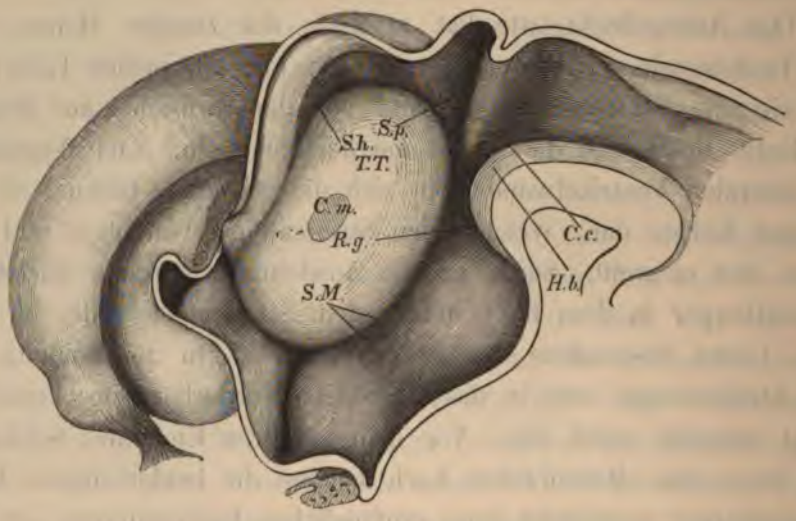


Fig. 36.

Constructionsbild des medialen Durchschnitts vom Embryo *Zr* (ca. 7½ Wochen). *T.T.* Tuber thalami, *C.m.* Commissura mollis, *S.h.* Sulcus habenulae, *R.g.* Recessus geniculi, *S.p.* Sulcus pinealis transversus, *H.b.* Haubenwulst, *C.c.* Cervicalcanal. Vergr. 15.

Monats begegnen sich die beiden Thalamuswülste in der Mittelebene und durch ihre Verlöthung entsteht die Commissura mollis.

Ueber dem Thalamuswulst verläuft eine Rinne, welche dem Seitenschenkel des Zirbellappens angehört, und die wir als den Sulcus habenulae bezeichnen können. Unter dem Thalamuswulst ist der bekannte Sulcus Monroi. Beide Furchen münden dorsalwärts in eine hinter dem Tuber thalami herablaufende Furche. Diese vertieft sich nach abwärts und ihr vertiefter Theil entspricht der stärksten Vorwölbung der Aussenfläche oder dem C. geniculatum laterale, ich nenne sie daher den Recessus geniculi. Von oben herab tritt eine von der Zirbel herkommende Querfurche, der Sulcus

pinealis transversus, in den Recessus ein, und von hinten her öffnet sich in dieselbe das vordere Ende des Aquäducts. Die eingeengte Stelle, welche ich oben als Hals des Zwischenhirns bezeichnet hatte, verengt sich nämlich durch Verdickung ihrer Wandungen weit früher, als die Höhlung des übrigen Mittelhirns, und sie bildet einen über den Haubenwülsten hinweglaufenden engen Verbindungsgang, den Cervicalkanal des Zwischenhirns. Die über ihm liegende eingebuchtete Wandstrecke zwischen Zirbel und vorderen Vierhügelwulst bezeichnet den Ort für die spätere Commissura posterior. Eine Bucht an der Stelle des inneren Kniehöckers ist nur

Fig. 37.

Mediale Fläche eines Hirns vom Beginn des dritten Monats, nach der Natur gezeichnet. Vergr. 5.

vorübergehend unterscheidbar als eine, ungefähr im Niveau des Tuber mammillare liegende Vertiefung des Sulcus Monroi. In Figur 36 sind die Striche von *S.M.* auf diese Bucht des medialen Kniehöckers hingekehrt.

Mit Ausnahme der letztgenannten sind zu Ende des zweiten Monats noch alle die oben beschriebenen Furchen und Buchten sehr bestimmt ausgesprochen; der trichterförmig vertiefte Recessus geniculi erscheint als der Mittelpunkt, nach welchem die von verschiedenen Seiten herkommenden Furchen zusammenstrahlen. Weiterhin schiebt sich aber der an Ausdehnung rasch zunehmende Sehhügelwulst von vorn her gegen den Recessus vor, mit seinem convexen hinteren Rand verengt er dessen Zugang und er schliesst denselben zuletzt völlig ab. Bei Embryonen von ca. 2½ Monat (von 4½ cm SSl) ist als letzter Rest des Recessus geniculi eine dorsal-

wärts gekrümmte schmale Spalte übrig geblieben, welche nahe vor dem vorderen Ende der Haubenwülste liegt. Diese Spalte schliesst sich in der Folge gleichfalls und als bleibende Spur ihres früheren Vorhandenseins scheint das mediane Sehhügelcentrum von Luys gedeutet werden zu dürfen[1]).

Bei diesen Umgestaltungen der Ventrikelwand ist besonders beachtenswerth, dass von den beiden, ursprünglich ziemlich gleichwerthigen Hälften der Regio thalamica die vordere oder der Thalamuswulst ein sehr bedeutendes Uebergewicht über die hintere

Fig. 58.
Medianschnitt durch das Gehirn eines ca. 2½monatl. m. Fötus. Vergr. 5.

Hälfte, die Pars retrothalamica, bekommt. Der Binnenraum der hinteren Hälfte wird vom Thalamuswulst beinahe ganz und gar erfüllt, und die im Wachsthum relativ zurückbleibenden Wandgebilde derselben, das Pulvinar, die Kniehöcker und die Brachia werden stark zur Seite gedrängt. Durch seine Ausdehnung nach rückwärts tritt der Thalamuswulst bis an die aus dem Mittelhirn hervortretenden Haubenwülste heran und es wird dadurch die Möglichkeit directer Verbindungen zwischen dem Haubengebiet und den Sehhügelwülsten geschaffen. Anderentheils gelangen die zur Seite geschobenen

1) Auf diese Möglichkeit bin ich durch Herrn Coll. Flechsig geführt worden, welcher bei Anlass einer Besichtigung meiner Modelle mich darauf aufmerksam gemacht hat, dass das Centre médian manche Eigenthümlichkeiten einer ursprünglichen Ventrikelausstülpung besitzt.

Gebilde der Pars retrothalamica in eine Stellung, die sie in unmittelbare Beziehung zu dem vom Auge heraufsteigenden Tractus opticus bringt. Die genauere Entwickelung dieser Beziehungen soll, gleich der Sonderung der einzelnen grauen Kerne und der Verfolgung der successiv entstehenden Faserbahnen, Gegenstand einer späteren Arbeit sein.

Citirte Litteratur.

1) His, Untersuchungen über die erste Anlage des Wirbelthierleibes. Leipzig 1868.
2) —— Ueber die Gliederung des Gehirns. Verh. der naturf. Ges. in Basel. Bd. IV. 1869.
3) —— Briefe über unsere Körperform. Leipzig 1875.
4) Rathke, Ueber die Entwickelung der Schildkröten. Braunschweig 1848.
5) —— Entwickelungsgeschichte der Natter. Königsberg 1839.
6) —— Untersuch. über die Entwickelung und den Körperbau der Krokodile. Braunschweig 1866.
7) Goette, Entwickelungsgeschichte der Unke. Leipzig 1874.
8) F. Keibel, Zur Entwickelungsgeschichte der Chorda bei Säugern. Archiv für Anat. u. Entwgesch. 1889. S. 371.
9) Schwalbe, Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Zwischenhirns. Sitzungsber. der Jena'schen Ges. f. Med. u. Naturw. 1880.
10) L. Loewe, Beiträge z. Anat. u. Entwickelung des Nervensystems. Leipz. 1880.
11) F. Arnold, Anatomie des Menschen. Freiburg 1851.
12) F. Schmidt, Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Gehirns. Siebold u. Kölliker's Z. f. wiss. Zool. Bd. XI. 1862.
13) V. v. Mihalkovics, Entwickelungsgeschichte des Gehirns. Leipzig 1877.
14) A. v. Kölliker, Zur Entwickelungsgeschichte des Auges und des Geruchsorganes. Würzburg 1883. (Festschrift zum Jubiläum der Univ. Zürich.)
15) Reichert, Der Bau des menschlichen Gehirns. Berlin 1859—1861.
16) Forel, Untersuchungen über die Haubenregion. Archiv für Psychiatrie. Bd. VII.
17) G. Schwalbe, Lehrbuch der Neurologie. Erlangen 1881.
18) C. F. Burdach, Bau und Leben des Gehirns. Leipzig 1822.
19) Broca, Recherches sur les centres olfactifs. Revue d'Anthropologie. 1879. S. 385.
20) E. Zuckerkandl, Ueber das Riechcentrum. Stuttgart 1887.
21) Max Schultze, Untersuchungen über den Bau der Nasenschleimhaut. Abh. der naturf. Ges. zu Halle. Bd. VII.
22) —— Ueber die Structurelemente des Nervensystems, in Stricker's Handbuch der Gewebelehre. Capitel III. Leipzig 1871.
23) His, Zur Geschichte des Gehirns. Abhandl. der K. S. Ges. d. Wissensch. Phys.-mat. Abth. 1888. Bd. XIV. Nr. VII.
24) —— Die Neuroblasten. Leipzig 1889. Ebendaselbst Bd. XV. Nr. IV.
25) —— Anatomie menschlicher Embryonen. Leipzig 1880—85.
26) W. His jun., Zur Entwickelungsgeschichte des Acustico-facialis-Gebietes beim Menschen. Archiv für Anat. u. Physiol. Anat. Abth. 1889. Supplementbd.

Erklärung der Abbildungen.

Gemeinsame Bezeichnungen für die Tafel und für die Holzschnitte.

Ag.	Augenblase, *A.* Eingang in dieselbe.	*Gg.*	Olfactoriusganglion.
Ad.	Adergeflechtfurche und -platte.	*Pd.*	Pedunculus cerebri.
Am.	Ammonsfurche und -falte.	*Pn.*	Pons.
Bb.	Balkenwulst des Riechlappens.	*P.s.*	Pars subthalamica.
Bf.	Bogenfurche.	*R.g.*	Recessus geniculi.
Ch.	Cerebellum.	*R.i.*	Recessus infundibuli.
C.c.	Corpus striatum.	*Rl.*	Riechlappen, *h.* hinterer, *v.* vorderer.
Dp.	Deckplatte.	*R.o.*	Recessus opticus.
F.	Flügelplatte des Nachhirns.	*Rp.*	Riechplatte.
G.	Grundplatte des Nachhirns.	*S.*	Sichel.
Gh.	Gehirn.	*Sf.*	Sichelfalte.
Hb.	Haubenwulst.	*S.M.*	Sulcus Monroi.
Hy.	Hypophysentasche.	*St.*	Stiel des Streifenhügels.
Hs.	Hemisphärenmantel.	*T.c.*	Tuber cinereum.
Is.	Isthmus.	*Th.*	Thalamus opticus.
Ka.	Kniehöcker, *m.* medialer, *l.* lateraler.	*Tr.*	Trichterfortsatz.
L.	Lamina terminalis.	*v.V.*	vorderer Vierhügel, *h.V.* hinterer Vierhügel.
M.	Mammillarfortsatz.	*Wf.*	Wurzelfurche der Augenblase.
Mh.	Mittelhirn.	*Z.*	Zirbellappen.
Nh.	Nasenhöhle.		

Alle Figuren der Tafel sind nach Plattenmodellen gezeichnet.

Fig. 1. Profilansicht des Gehirns vom Embryo Br_3. Nl. 6,9 mm.

Fig. 2. Dasselbe Gehirn im medianen Durchschnitt.

Fig. 3. Schnitt annähernd senkrecht zur Axe durch das Gehirnmodell desselben Embryo Br_3.

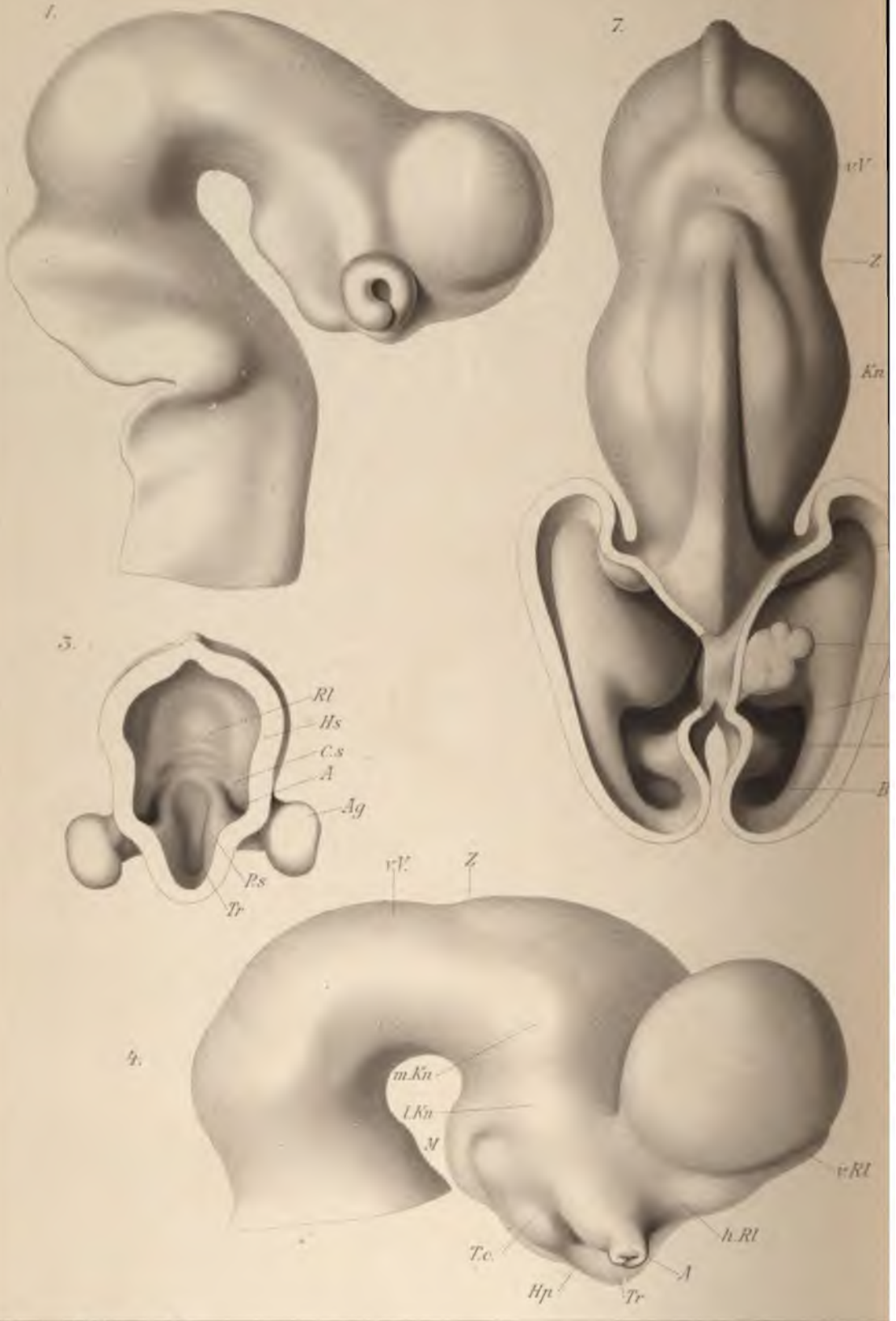
Fig. 4. Profilansicht des Gehirns vom Embryo *Ko.* Nl. 10,2 mm.

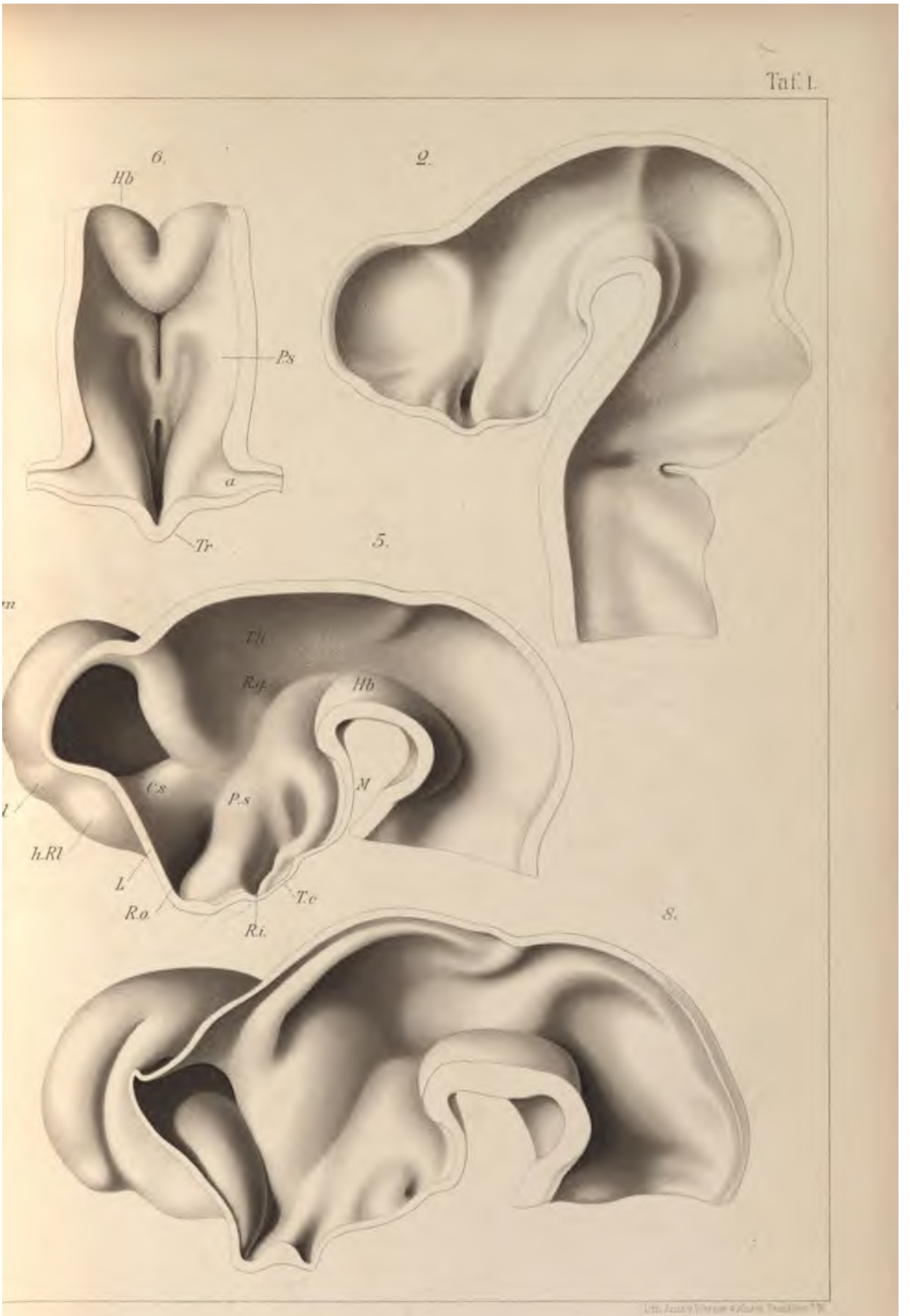
Fig. 5. Medianschnitt durch dasselbe Gehirn.

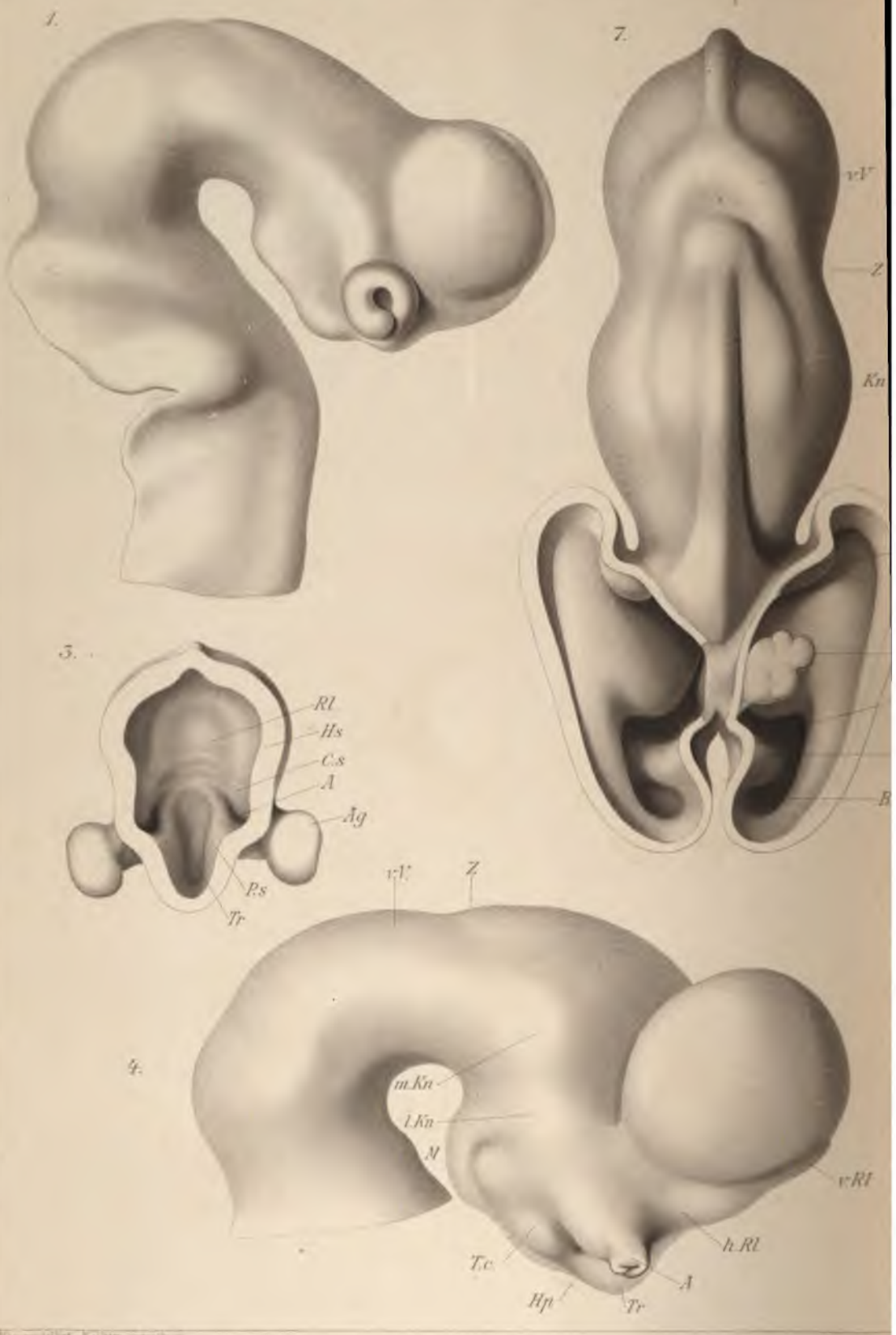
Fig. 6. Ansicht der hinteren Wand des dritten Ventrikels von demselben Embryo; der Schnitt verläuft längs des Sulcus Monroi.

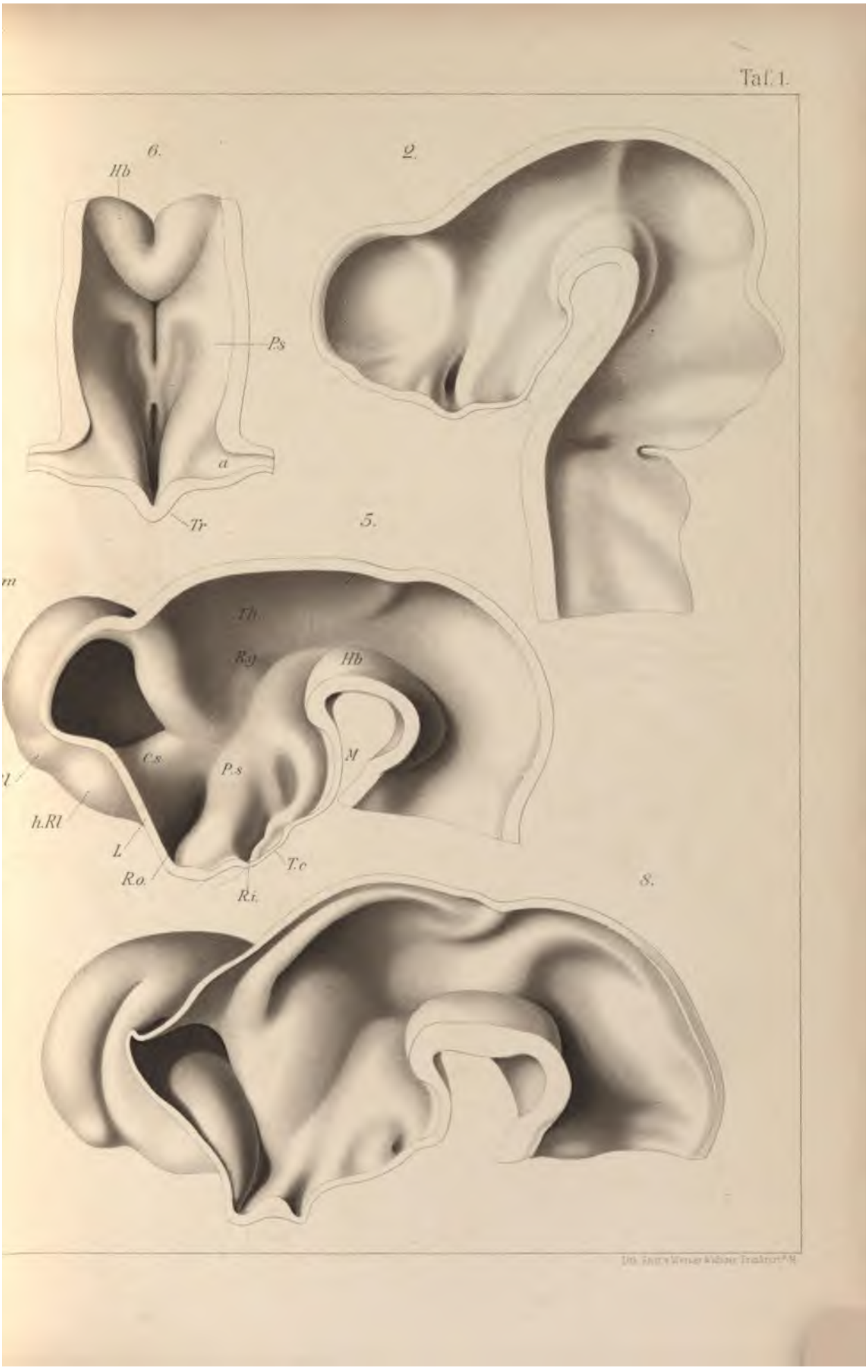
Fig. 7. Ansicht des Gehirns vom Embryo *CR.* Nl. 13,6 mm.

Fig. 8. Medianschnitt durch dasselbe Gehirn.


1.
2.
vV
Z
Kn
3.
Rl
Hs
C.s
A
Ag
Ps
Tr
vV
Z
4.
m.Kn
l.Kn
M
vRl
h.Rl
T.c.
A
Hp
Tr


6.
Hb
Ps
a
Tr
9.
5.
Th
Rsp
Hb
Cs
P.s
M
h.Rl
L
R.o
R.i
T.c
8.


1.
2.
v.V.
Z.
Kn
3.
Rl
Hs
C.s
A
Ag
P.s
Tr
4.
m.Kn
l.Kn
N
v.Rl
h.Rl
T.c.
A
Hp
Tr


6.
Hb
Ps
a
Tr
7.
5.
Th
Rg
Hb
M
C.s
P.s
h.Rl
L
Ro.
Ri.
T.c
8.

ZAHL UND VERTHEILUNG

DER

MARKHALTIGEN FASERN

IM FROSCHRÜCKENMARK.

VON

JUSTUS GAULE.

Des XV. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° IX.

MIT ZEHN TAFELN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL

1889.

Vorgetragen in der Sitzung am 1. Juli 1889.
Das Manuscript eingeliefert am 8. Juli 1889.
Der Druck beendet am 20. November 1889.

ZAHL UND VERTHEILUNG

DER

MARKHALTIGEN FASERN IM FROSCHRÜCKENMARK

VON

JUSTUS GAULE.[1])

MIT ZEHN TAFELN.

1) Diese Arbeit kann auch angesehen werden als dritter Beitrag zu den Zahlenwerthen des Oekus des Frosches von demselben.

Die Zeitspannne zwischen Beginn und Vollendung dieser Arbeit ist keine kurze. Vor fünf Jahren, als ich noch der histologischen Abtheilung des Physiologischen Laboratoriums in Leipzig vorstand, wurde dieselbe begonnen. Damals vertraute ich Herrn Matheus Rechtsamer aus Odessa das Thema an, und es hätte, was Eifer und Ausdauer in der Verfolgung des Zieles betrifft, in keinen besseren Händen sein können. Leider waren die technischen Vorbedingungen für eine genaue Zählung damals noch nicht gut genug erfüllt, und daher erreichte Herr Rechtsamer die Genauigkeit nicht, welche nothwendig war. Weigert hatte uns erst seine Säurefuchsinmethode der Markscheidenfärbung mitgetheilt, und mit dieser hat Herr Rechtsamer sich lange, ich darf wohl sagen redlich gequält. Die Präparate fielen zwar schön aus und schienen damals allen Anforderungen zu entsprechen, obgleich wir heute wissen, dass die allerfeinsten Fasern mit dieser Methode noch nicht gefärbt werden. Sie hatten aber den Nachtheil, roth gefärbt zu sein, und wie leicht unsere Augen für Roth ermüden, das hatte Herr Rechtsamer bald Gelegenheit zu bemerken, da sich bei ihm allmählich eine völlige Rothblindheit einstellte. Gegen dieses Übel anzukämpfen suchten wir vergeblich, durch Beschränkung der Arbeitszeit, durch eingeschaltete Pausen zur Erholung u. s. w. Es kam zu einer Unsicherheit in der Zählung, die mit der Zeit trotz der Übung immer grösser wurde, so dass jeder folgende Versuch schlechter ausfiel als der vorausgehende. Als Kriterium für die Richtigkeit seiner Zählungen hatte ich Herrn Rechtsamer vorgeschlagen, die Gleichheit der auf beiden Seiten gezählten Summen zu benutzen. War diese Gleichheit schon an sich vorauszusetzen, so hatten ja die Birge'schen Zählungen der Ganglienzellen und Wurzel-

fasern[1]) die Gleichheit dieser Elemente auf beiden Seiten ergeben. Dadurch erschien es ausserordentlich wahrscheinlich, dass auch die übrigen Elemente gleich sein müssten. Nun ergaben aber die Zählungen des Herrn RECHTSAMER Differenzen von mehr als 25% zwischen den beiden Seiten. Damit konnte man sich nicht zufrieden geben. Ebensowenig befriedigte eine darauf vorgenommene doppelte Zählung desselben Schnittes, da auch sie zu übereinstimmenden Resultaten nicht führte. Mitten in diesem Bemühen, das zu völliger Unfruchtbarkeit verdammt schien, erfuhren wir von der zweiten WEIGERT'schen, der Hämatoxylinmethode. Diese brachte zwei Vortheile, nämlich eine viel vollständigere Färbung der Fasern, und Ersatz des Roth durch Schwarz. Indessen gab es vorher abermals eine Schwierigkeit zu überwinden. Diese neue Färbung schien mit der Paraffineinbettung sich nicht zu vertragen: Schnitte von Rückenmarken, welche in Paraffin eingebettet waren, nahmen die Hämatoxylinfärbung entweder nicht mehr in der charakteristischen Weise an, oder entfärbten sich ohne Differenzirung der weissen und grauen Substanz. Die Paraffineinbettung zeigte sich aber als unentbehrlich, denn Schnitte von in Celloidin eingebetteten Marken liessen sich nicht dünn genug erhalten und zeigten vor Allem nicht die glatten, gleichmässigen Schnittflächen, welche nothwendig sind, um die Zählung zu ermöglichen. Das Celloidin durchdringt eben nicht so wie das Paraffin alle Elemente und gewährt nicht allen gleichmässige Stütze und Festigkeit. Selbst mit scharfem Messer durchreisst man ein Celloidinpräparat mehr als man es durchschneidet. Daher erscheint die Oberfläche eines solchen Schnittes uneben, die Elemente verbogen und verschoben; eine Zählung ist dann ausgeschlossen. Da man keinen Ersatz für das Paraffin finden konnte, so wurde der Versuch gemacht, das Rückenmark vor der Einbettung zu färben, also in toto. Auch das ging nicht ohne weiteres. Endlich schien das Bemühen von Erfolg gekrönt zu werden, es gelang ein tadellos gefärbtes und eingebettetes Rückenmark herzustellen, von welchem Herr RECHTSAMER eben noch die ersten Schnitte unter Glas bringen konnte, als ihn allerlei Verhältnisse zwangen,

1) Vergl. die Arbeit von E. A. BIRGE im Archiv f. A. u. Ph. Physiol. Abthlg. 1882 Suppl. »Die Zahl der Nervenfasern und motorischen Ganglienzellen im Rückenmark des Frosches«, auf welche hier vielfach Bezug genommen wird und die den Ausgangspunkt für die Vergleichung bildet.

Leipzig zu verlassen und nach Berlin überzusiedeln. Seine Bestrebungen, dort die Möglichkeit zu finden, seine Zählungen wieder aufzunehmen, scheinen nicht geglückt zu sein. Auch ich musste die Sache zunächst ruhen lassen, da andere Aufgaben, vor Allem veranlasst durch meine Uebersiedelung nach Zürich, mich dringender in Anspruch nahmen. Gelegentlich der dort ausgeführten Arbeiten, namentlich der von Rud. Wlassak über das Kleinhirn[1]), machte ich aber die Beobachtung, dass die Schwierigkeiten, welche sich der Anwendung der Hämatoxylinmethode auf die in Paraffin eingebetteten Rückenmarke entgegenstellen, verschwinden, wenn man bei der Einbettung Terpentin und Nelkenöl vermeidet und nur Xylol verwendet, so zwar, dass man erstens aus wasserfreiem Alkohol direct in Xylol überführt und dann ein Gemisch von Xylol und Paraffin zu gleichen Theilen anstatt Terpentin und Paraffin herstellt. Man erhält, natürlich vorausgesetzt, dass auch die zahlreichen übrigen zum grossen Theil bekannten kleinen Kunstgriffe richtig in Anwendung gebracht werden, tadellos schöne, gut gefärbte, glatte Schnitte, in denen jede, auch die kleinste Faser deutlich hervortritt. Somit war denn die Möglichkeit einer Zählung unter besseren und voraussichtlich erfolgreichen Bedingungen gegeben, und ich wandte mich an die K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften um eine finanzielle Beihülfe zur Ausführung des Zählungsgeschäftes selbst. Diese Hülfe ist bereitwillig gewährt worden, und ihr verdanke ich es, dass ich, nachdem die überaus zeitraubenden Zählungen, welche über ein Jahr in Anspruch nahmen, vollendet sind, über die Resultate nunmehr berichten kann.

Zweck.

Der Bau der Organismen, des Centralnervensystems insbesondere, enthüllt sich nur langsam. Schon gewonnene, in Lehrbücher und Vorlesungen übergegangene Anschauungen versinken wieder ins Dunkel vor dem Lichte neuer Hypothesen. Leute, welche ausserhalb des Kreises physiologischer Forschung stehen, und doch mit Interesse dem lauschen, was aus ihm herausdringt, fragen mit einigem Erstaunen, ob denn irgend eine der herrschenden Ansichten Gewähr dafür biete,

---

1) R. Wlassak, »Das Kleinhirn des Frosches«. Archiv f. A. u. Ph., Physiol. Abthlg. 1887 Suppl.

dass sie die Jahre überdauere. Man begegnet dem Zweifel an der Zuverlässigkeit der Beobachtungsresultate, auf denen diese Ansichten aufgebaut sind, häufig, häufiger vielleicht als früher. Es wäre ungerecht gegen unsere heutige Forschung, wollte man diesem Zweifel Berechtigung zugestehen. Ich glaube Beobachtungen und Experimente sind eben so verlässlich wie früher, sie sind so zuverlässig, wie sie überhaupt sein können. Aber es beginnt sich stärker fühlbar zu machen, in dem Maasse, als wir genauer auf die Vorgänge im Organismus eingehen, der Misstand, dass wir die eigentliche Beschaffenheit desselben so wenig kennen. Es liegt mir natürlich fern, in den Bericht über meine Zählungen eine allgemeine erkenntnisstheoretische Untersuchung einflechten zu wollen. Aber ein paar Bemerkungen, die ich hier machen möchte, wird man in Kauf nehmen, weil sie den eigentlichen Sinn der hier gestellten Aufgabe enthalten: Unsere Vorstellungen von dem inneren Aufbau des Organismus beruhen zumeist auf Präparaten, die einzeln besonders geschickten Männern gelangen, oder die man auf sogen. glückliche Funde, d. h. auf Rechnung des Zufalls setzt. So beherrschte, um bei dem Centralnervensystem zu bleiben, die an einzelnen Ganglienzellen gemachte Beobachtung von der Verbindung mit der Nervenfaser durch den Axencylinderfortsatz lange Zeit die Auffassung, bis ihr in neuester Zeit durch die ebenso an vereinzelten Ganglienzellen gemachten Beobachtungen GOLGI's eine gewichtige Opposition erwachsen ist. Es fehlt nicht an Anzeichen, dass ebenso einseitig, wie man seither isolirte und continuirliche Bahnen und Verbindungen zu Trägern der gesammten Organisation und Function gemacht hat, nunmehr die Vorstellung eines allgemeinen filzartigen Ineinandersteckens die herrschende werden soll. Ich will hier auf eine Kritik der Befunde und des Verfahrens nicht eingehen[1]); ich möchte nur an Diejenigen, welche so bereit sind, von der Generalisation des einen Befundes zu der des entgegengesetzten überzugehen, die Frage richten, weshalb sie glauben, dass die ungeheure Mehrzahl der Präparate,

1) Es soll in diesem Aufsatz von der Histologie des Centralnervensystems nicht die Rede sein. Ich werde wohl in Bälde Gelegenheit finden, meine Untersuchungen über dieselbe mitzutheilen. Vielleicht wird es Einigen interessant sein, die Arbeit von BEEVOR »Ueber die Kleinhirnrinde« (Archiv f. A. u. Ph., Physiol. Abthlg. 1884 Suppl.) aus Anlass dieser Controverse noch einmal anzusehen.

die wir von dem Centralnervensystem gewinnen, weder den einen noch den anderen Befund zeigen? Früher hätte man mir unzweifelhaft geantwortet: ja dieselben sind eben nicht gelungen. Man hegte die Vorstellung (und Viele hegen sie noch), dass es Angesichts der grossen Schwierigkeiten, mit denen die Erforschung des inneren Aufbaues der Organismen sich verknüpft, nicht zu verwundern sei, wenn nur hie und da ein Glücksfall oder ein Kunstgriff den Einblick gestatte. Diese Auffassung dürfte aber heute nicht mehr haltbar sein. Wir haben wenigstens so viel gelernt, dass wir bei unseren Präparationen die Gewebe nicht mehr durch rohe mechanische oder chemische Insulten verderben, unsere Methoden gestatten die Durchmusterung von sehr vielen Präparaten und wir machen Gebrauch davon. Wir sind also nicht mehr in der Lage von Leuten, welche in ihrem Leben höchstens einigemal ein wirklich gelungenes Präparat von einem Gewebe gesehen haben und nun ihre Ansichten danach einrichten. Was aber ist der Grund, weshalb die zahlreichen und guten Präparate des Centralnervensystems, die neuerdings gemacht werden, im Ganzen so wenig Einfluss auf die Ansichten gewonnen haben, und weshalb es erst wieder einem nur an vereinzelten Zellen gelingenden Kunstgriff wie dem Golgi's vorbehalten blieb, eine neue Anschauung zu begründen? Das liegt eben daran, weil diese gewöhnlichen Präparate, ich meine damit sowohl durch Sublimat, chromsaures Kali, Säuremischung oder irgendwie ordentlich gehärtete Präparate, gefärbt mit Carmin, oder meiner vierfachen Färbung, oder anders, uns nicht eine einzelne Beziehung der Elementartheile zu einander, sondern gewissermassen eine Resultirende zeigen, in welcher je nach der Sorgfalt der Behandlung mehr oder weniger von den einzelnen Componenten, d. h. all' den Stoffen, die überhaupt einen Einfluss auf das Bild haben, deutlich werden. Das aber entspricht nicht der allgemeinen Erwartung, die sich, ich weiss nicht auf welchem Wege, in den Köpfen festgesetzt hat. Diese besteht nämlich darin, dass es eine ganz bestimmte Structur der lebenden Wesen geben müsse, welche man auf irgend einem besonderen Wege, mit Hülfe eines besonderen Reagenses entdecken könne. Leuten, welche dieses Glaubens leben, erscheint überhaupt innerhalb eines Gewebes nur eine Structur als die mögliche, und wenn sie diese denken aufgefunden zu haben, so werden sie jedes Präparat, welches diese

Structur nicht zeigt, entweder als unvollkommen bezeichnen, oder im Falle dasselbe auch ausgeprägte Structureigenthümlichkeiten zeigt, als ein Kunstproduct. Dann wird, falls sich etwa Vertheidiger für beide Präparationsmethoden finden, sich eine Discussion darüber entspinnen, welche nun eigentlich die Kunstproducte liefere. Mir erscheint dies Verfahren, so sehr es den Traditonen der letzten Jahrzehnte entspricht, doch der Berechtigung zu entbehren. Ich glaube, dass wir durchaus keine Veranlassung haben, zu erwarten, dass es innerhalb des Protoplasmas der Zellen, in dem Kernplasma, in den Verbindungen der Zellen unter einander und ihren Derivaten eine ganz bestimmte, im Leben vorhandene, nach dem Tode wieder zu erkennende Structur geben müsse. Von Structuren können wir doch nur reden, wo die festen Theile sich von den Flüssigkeiten abtrennen, nicht aber, wenn die festen Theile in den Flüssigkeiten gelöst sind. Nun ist aber das Protoplasma der Zellen in so hohem Grade flüssig und jeder Formveränderung fähig, dass wir uns unmöglich vorstellen können, es sei von einem festen Gerüste durchdrungen, das auch die feinsten Elemente aufnimmt. Die Raschheit, mit der die Umsetzung der Theile der Zellen bei ihren physiologischen Functionen erfolgt, macht es ferner viel wahrscheinlicher, dass die Stoffe, welche sich hierbei umsetzen, in gelöstem Zustand vorhanden sind, als in einer festen Structur, die erst aufgelöst und wieder ausgeschieden werden müsste. Ich will von Schlüssen, die wir aus dem bekannten Wassergehalt der Organismen und den Löslichkeitsverhältnissen der in ihnen enthaltenen Stoffe ziehen könnten, ganz absehen. Eine solche Lösung schliesst nicht aus, dass innerhalb doch eine gewisse Gruppirung der Moleküle besteht, zumal die Lösung ja doch eine Eiweisslösung sein würde. Aber diese Gruppirung wird im Leben nicht den Charakter einer Ausscheidung einer festen Structur haben, sie hat einen wesentlich **chemischen** Grund und ist bedingt durch die Umsetzungen selbst, die in der Zelle stattfinden. Sie wird in dem Protoplasma einer Ganglienzelle z. B. eine andere sein in dem Moment, wo irgend eine Erregung von ihr ausgeht, wo also ihre Moleküle einwirken auf die des Nerven, sie wird eine andere sein, wenn sie in Austausch tritt mit dem Blut, um Ernährungsstoffe zu empfangen, eine andere, wenn sie etwa mit der Lymphe verkehrt.

Nun will ich nicht sagen, dass solche Verschiedenheiten in der

Gruppirung der Moleküle nicht auch ihren Ausdruck in dem morphologischen Verhalten finden müssen. Das ist im Gegentheil der Fall. Schon Herr Beevor hat darauf aufmerksam gemacht, dass die verschiedene Färbung, welche die Purkinje'schen Zellen des Kleinhirns zeigen, nur erklärt werden können durch ein verschiedenes Verhalten intra vitam, eine Lehre, welche nachher durch Herrn Flesch[1]) eine weitere Ausbildung erfahren hat und neuerdings von Herrn Hodge[2]) in Baltimore benutzt worden ist zur Entscheidung, ob Ganglienzellen im Leben thätig gewesen sind oder nicht.

Es ist ja wohl anzunehmen, dass die verschiedene Thätigkeit der Ganglienzelle nicht ohne Einfluss auf ihre chemische Zusammensetzung bleibt, und die Färbung, die ja doch eine chemische Reaction ist, kann das ohne Zweifel anzeigen. Ich will demnach durchaus nicht bestreiten, dass über die Gruppirung der Stoffe im Protoplasma nicht das histologische Präparat Aufschluss geben könne, im Gegentheil, ich halte das für eine der werthvollsten Leistungen unserer Technik. Diese Gruppirung ist aber nicht eine feste Structur, sie ist eine höchst labile, entsprechend den verschiedenen functionellen Aufgaben, die an die Zellen herantreten. Wir dürfen deshalb nicht ein Bild, sondern wir müssen sehr viele verschiedene Bilder von einer und derselben Zellenart als möglich erwarten, je nach dem augenblicklichen Zustand in dem sie sich befindet. Für die Richtigkeit dieser Behauptung scheint mir schon in der Arbeit von Stolnikow[3]) der Beweis erbracht zu sein. Wer zunächst die Bilder der Leberzellen nach kurzer Einwirkung des Phosphors in dieser Arbeit betrachtet, der mag sich für berechtigt halten anzunehmen, dass das Protoplasma hier aus Granulas bestehe. Wer aber dann die Bilder ansieht, die dieselben Leberzellen nach der Ernährung mit Zucker, Pepton und im Hunger annehmen, der muss zugestehen, dass man von einer einzigen Structur nicht sprechen könne, sondern dass verschiedene Ernährung diesem Protoplasma eine ganz verschiedene

---

1) Max Flesch, »Ueber die Verschiedenheiten im chemischen Verhalten der Nervenzellen«. Mittheilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bonn. 1887.

2) C. F. Hodge, »Some Effects of Stimulating Ganglion Cells«. American Journal of Psychology. May 1888.

3) Stolnikow, »Vorgänge in den Leberzellen, insbesondere bei der Phosphorvergiftung«. Archiv f. A. u. Ph., Physiol. Abthlg. 1887. Suppl.-Bd.

Beschaffenheit verleihen könne, ohne dass die Functionsfähigkeit dabei aufhöre.

Man sieht indessen noch nicht klar in dieses Verhältniss, wenn man sich nicht noch den Einfluss des Reagenses vergegenwärtigt, durch das man die lebende Zelle in das histologische Präparat übergeführt hat. Soweit die festen Theile in der lebenden Zelle wirklich vorgebildet sind, ist nicht einzusehen, warum dieselben nicht bei dem Vorgang der Erhärtung unverändert bleiben sollten, wofern man nicht mechanische Gewalt anwendet, um sie zu zerreissen, oder chemische Mittel sie zu lösen oder zu zerstören.

Da unsere Reagentien in der Regel auf die Eiweisskörper und Fette, aus denen diese festen Theile zumeist bestehen, eine solche Wirkung nicht haben, so sehen wir dieselben in allen Präparaten, wie sie auch erhärtet sein mögen, wiederkehren. Dagegen ist es anders mit den sogen. feineren Structuren des Protoplasmas und des Kerns, ferner mit gewissen Fortsätzen der Zellen, namentlich mit den feinsten Nervenverbindungen, Nervansätzen u. m. a. Diese nämlich geben ein ganz verschiedenes Bild je nach dem Erhärtungsmittel, welches man braucht, und manche sind überhaupt nur durch ein ganz bestimmtes Erhärtungsmittel sichtbar zu machen. Das ist aber ganz was man erwarten muss, wenn diese Structuren dem Niederschlagen bestimmter Stoffe durch das Erhärtungsmittel ihre Entstehung verdanken. Es ist kein Einwand gegen diese Auffassung, wenn man geltend macht, dass diese Structuren eine grosse Regelmässigkeit zeigen, denn jeder Niederschlag, den man frei von störenden Einflüssen sich abscheiden lässt, zeigt diese Regelmässigkeit. Man darf auch nicht geltend machen, dass diese Structuren oft eine grosse Complicirtheit der Anordnung zeigen.

Eiweissniederschläge, die man unter dem Mikroskop erzeugt, sind oft ganz ebenso complicirt, und man erhält im Allgemeinen ein um so complicirteres Bild, je mehr Substanzen die Lösung, aus der man niederschlägt, gleichzeitig enthält.

Endlich trifft das, was man mir hauptsächlich entgegenhalten wird, dass nämlich dieser Niederschlag nur an bestimmten Stellen erfolge und dass er seine bestimmten Beziehungen habe zum Leben, mich gar nicht, denn ich behaupte nicht, dass es sich hier um den Niederschlag einer diffus vertheilten Substanz handle. Was ich be-

haupte ist blos, dass erst unter dem Einfluss der Reagentien die Bestandtheile des Protoplasmas sich von der Flüssigkeit getrennt und die Eigenschaften fester Körper angenommen haben.

Meine Bemerkungen richten sich also gar nicht gegen die Annahme von der complicirten Zusammensetzung der lebenden Substanzen. Auch nicht gegen die Annahme, dass die chemischen Bestandtheile derselben eine bestimmte Anordnung haben können. Wenn wir in irgend einem Moment die Theile einer Verbindung sichtbar machen könnten, welche durch einen hindurchgeschickten Strom in Elektrolyse gehalten wird, so würden wir wohl erkennen, dass diese Theile eine bestimmte Anordnung haben, trotzdem sie in Lösung sind. Ebenso würden wir eine bestimmte Anordnung gelöster Theile erkennen in einer Lösung, von der ein Theil im Begriff ist, auszukrystallisiren, oder um noch ein Beispiel zu geben, wenn dieselben im Begriff sind, zu diffundiren. Unter allen diesen Einwirkungen und noch unter vielen anderen stehen aber die Theile der lebendigen Substanz, und an Gründen für eine innere Anordnung fehlt es nicht. Die Anordnung mag sogar in den lebenden Zellen noch einen Grund haben, der sie deutlicher macht, als in den eben angeführten Beispielen, weil die Eiweisskörper, die fett- und gummiähnlichen Substanzen, aus denen diese bestehen, nicht die ganz freie Beweglichkeit im Wasser besitzen, wie die echt gelösten Körper. Wir können uns ungefähr eine Vorstellung machen von den Anordnungen, die da entstehen, wenn wir Gummi- oder Eiweisslösungen oder Emulsionen unter den Einfluss einer der oben erwähnten Kräfte bringen. Immer behalten indessen hierbei die Theile einen völlig labilen Charakter, das eigentlich Bestimmende ist die richtende Wirkung der Kraft, unter deren Einfluss die Anordnung geschieht, und mit dieser Kraft wechselt auch die Anordnung. Daher liegt die Falschheit eben darin, eine bestimmte Anordnung in den Theilen der lebenden Substanz zu fordern, und nicht vielmehr anzunehmen, dass, da viele Kräfte auf dieselbe wirken, es sehr viele mögliche Anordnungen geben könne. Dazu gehört nun noch ein Zweites. Niemand wird erwarten, dass er in einem Beispiel der oben genannten Art die Theile durch irgend ein chemisches Reagens in feste Form überführen könne, ohne dass das Reagens dabei auf die Anordnung der Theile einen Einfluss gewönne. Wenn ich in einer

Kohlenhydratlösung, einer Eiweisslösung, einer Fettlösung einen Niederschlag erzeuge, so enthält dieser Niederschlag entweder Bestandtheile des Reagens, das ich angewendet habe, wie es z. B. bei den durch Eisen-, Chrom-, Silber- oder Goldsalzen, überhaupt den Metallsalzen entstandenen Niederschlägen der Fall ist, oder die Substanz ist durch innere Umlagerung verändert, wie z. B. die durch Alkohol hervorgebrachten Eiweissniederschläge, welche ihre Löslichkeit verlieren. Wenn ich aber dieselben Reagentien wirken lasse auf die Zellen, in denen sie dieselben Stoffe antreffen, wenn ich mit diesen Reagentien die Zellen härte, was doch nichts anderes heissen kann, als die in ihnen enthaltenen Stoffe in feste Form überführen, d. h. niederschlagen, dann soll ich Alles, was ich da erhalte, als die Structur der lebenden Wesen ansehen. Dazu soll ich sogar die Säuren verwenden dürfen, die doch gewiss ihre chemische Affinität ausüben werden, von denen wir z. B. wissen, dass sie das Lecithin, einen der wichtigsten Zellenbestandtheile spalten, und wie diesen organischen Ester, so gewiss auch viele andere der esterartigen Verbindungen, die im Protoplasma vorkommen. Dass das ungereimt ist, muss einleuchten. Was unsere gehärteten Präparate enthalten, sind eben einfach die unlöslichen Niederschläge (während diejenigen Stoffe, welche nicht in solche Form gebracht werden, sich auswaschen). Diese Niederschläge sind mannigfaltiger Art, weil es eben vielerlei Stoffe giebt in der Zelle; sie werden, sofern das Präparat zweckmässig gemacht ist, auch noch über die Anordnung, die die lebende Substanz hat, vielerlei aussagen lassen, aber jeder solcher Niederschlag ist das Product von zwei Factoren, nämlich erstens der ursprünglichen Substanzen, und zweitens des Reagens. Deshalb müssen die Verschiedenheiten der Reagentien auch verschiedene Zellenbilder erzeugen. Ich habe darüber vielfache und systematische Versuche angestellt und rathe Jedem, der sich davon noch nicht überzeugt, einmal dies auch zu thun. Im Grunde ist der Streit zweier Autoren, von denen der eine seine Zellen mit Chromsäure, der andere etwa mit Pikrinsäure erhärtet, und von denen nun immer der Eine dem Andern vorwirft, er habe Kunstproducte erzeugt, vollkommen unlogisch. Es läuft auf dasselbe hinaus, wie wenn zwei Chemiker, von denen der eine den Kalk mit Oxalsäure, der andere mit Schwefelsäure niedergeschlagen hätten, sich darüber streiten wollten,

welcher Niederschlag denn die ursprüngliche Structur des Kalkes darstelle.

Folgt nun etwa daraus, dass man auf den Gebrauch der Reagentien verzichten müsse? Durchaus nicht. Manche Histologen haben geglaubt, man solle sich allein an die lebende Zelle halten. Aber in der lebenden Zelle, wo die Stoffe zum grössten Theil gelöst sind, kann man ja gar nichts von ihnen sehen. Der Chemiker kann sich auch nicht damit begnügen, seine Lösungen zu betrachten, er kann auf den Gebrauch seiner Oxalsäure und seiner Schwefelsäure nicht verzichten, er weiss aber, dass er nur durch Vergleichung aller der verschiedenen Reactionen, die er erhält, seine Lösung wirklich analysirt. So muss der Histologe auch verfahren, alle die Bilder, welche er erhält, muss er von dem Standpunkt von Reactionen betrachten, die die Substanzen der Zellen geben, die alle ihren Werth haben, von denen aber keine allein massgebend sein kann. In Bezug auf die Färbung beginnt sich bereits die Einsicht Bahn zu brechen, welche ich von Anfang an vertreten habe, dass dieselbe nach den Principien der chemischen Analyse behandelt werden müsse. Dasselbe aber gilt von der Härtung und von allen jenen Reactionen mit Gold, Silber, Osmium u. s. w., durch die man Bilder erhält. Und diese Aufklärung sollte uns bald werden, denn es ist ja zweifellos, dass uns die fortschreitende Technik noch sehr viele interessante Bilder bringen wird, und dass wir nach und nach eine ganze Reihe charakteristischer Reactionen haben werden. Statt aber dass jede dieser Reactionen beansprucht, »sie mache die eigentlichen Structurelemente sichtbar und alle anderen seien nichts«, sollten sie alle nach chemischen Gesichtspunkten zusammengefasst und als Hülfsmittel der Analyse verwendet werden. Man kann nach dem bis jetzt Bemerkten erwarten, dass zwei Reihen von Mannigfaltigkeiten in den Präparaten erscheinen, nämlich die durch die wechselnde Anordnung der lebenden Substanzen selbst bedingte, und die durch die Variation des Reagens bedingte. Was der einen, was der andern Reihe angehört, haben wir zu allererst zu trennen, können es aber bis jetzt nur in den seltensten Fällen. Dann werden sich weiter die Präparate im Allgemeinen in zwei Klassen trennen lassen. Ich sprach davon schon im Eingang dieses Abschnittes, und man wird meine Meinung nun besser verstehen. Die erste Klasse umfasst Präparate, in denen alle

Stoffe mehr oder weniger gleichmässig niedergeschlagen sind und in denen auch die Zellen in einem so zu sagen mittleren Lebenszustand sich befinden; die zweite Klasse dagegen solche, in denen entweder durch eine Zersetzung anderer Stoffe oder durch eine besondere Affinität zum Reagens ein Stoff ganz besonders hervortritt, oder in denen auch durch den Lebensprocess ein Stoff besonders entwickelt ist. Diese Präparate sind diejenigen, welche am meisten Aufmerksamkeit erregen, welche auch am meisten lehren können, wenn man sie als das betrachtet, was sie wirklich sind.

Man wird nun fragen, was hat diese Discussion der Entstehung der Präparate mit den Zählungen zu thun? Das kann ich leicht erklären. Sobald man einmal die Vorstellung verlässt, dass man plötzlich den Stein der Weisen finden könne, sobald man alle die Methoden und Kunstgriffe auf ihren wissenschaftlichen Werth zurückführt, d. h. als Hülfsmittel, durch das in der unendlichen Complicirtheit der lebenden Substanzen eine oder die andere Beziehung erkannt würde, sobald wird man einsehen, dass eine quantitative Methodik unentbehrlich ist. Wenn ich in einer Salzlösung wie dem Serum durch qualitative Reactionen die Anwesenheit von Kalk, von Magnesia, von Natron, von Kali, von Chlor, von Schwefelsäure, von Phosphorsäure, Kohlensäure u. s. w. festgestellt habe, so weiss ich doch noch sehr wenig über die Verbindungen, die in dem Blute wirklich existiren, bis ich die Mengen kenne und z. B. erfahre, dass Chlor und Natrium so sehr alle andern genannten Stoffe überwiegen, dass sie nothwendig mit einander verbunden sein müssen und das Serum im wesentlichen sich verhält, wie eine Kochsalzlösung. Wenn ich in einem organischen Körper die Elemente *C H N O* entdecke, so sind unzählig viele Combinationen derselben möglich, und erst von dem Moment an, wo ich weiss, wie viele Atome von jedem in die Verbindung eingehen, kann ich vermuthen, was der Körper für Eigenschaften hat. Oder um nicht alle Beispiele aus der Chemie zu wählen, wenn ich auf dem Markte in einer grossen Stadt einzeln die Menschen durch Momentaufnahme photographirte, so würde ich Bilder der verschiedensten Zustände der Thätigkeit erhalten, und erst durch die Vergleichung dessen, was die Mehrzahl dieser Thätigkeiten bedeutet, würde ich herausbringen, dass die Bedeutung des Ganzen ein Markt ist.

Die einzelne auffallende Erscheinung, einen so grossen Werth

sie haben kann, darf uns doch nie zu einer Verallgemeinerung führen, bevor nicht das quantitative Verhältniss untersucht ist. In vielen Abhandlungen, die sich mit der Beschreibung solcher auffallenden Erscheinungen beschäftigen, sucht man die Generalisirung durch die Ueberzeugung zu rechtfertigen, dass Alles gesetzmässig geschehen müsse. Man wird an den Reisenden erinnert, der in sein Tagebuch eintrug, die Bewohner dieses Landes sind rothhaarig und stottern, weil der einzige Bewohner, den er gesehen hatte, rothe Haare hatte und stotterte. Dieser Reisende hatte auch eine starke Ueberzeugung von der Gesetzmässigkeit, nur wendete er leider die Gesetze falsch an.

Ist es nun schon unerlässlich, um über die statischen Verhältnisse im Organismus ins Klare zu kommen, d. h. um uns klar zu werden, welche Kräfte und welche Kraftquellen im Organismus vorhanden sind, die einzelnen Elemente quantitativ zu bestimmen, so erscheint es noch weit nothwendiger, wenn wir die dynamischen Verhältnisse, d. h. die Kraftwirkungen, die Veränderungen, unter dem Einfluss der entwickelten Kräfte studiren wollen. Was ist denn unser Leitfaden in dem Spiel der Kräfte der Natur? Wenn an einer Stelle chemische Spannkräfte in Wärme, an einer anderen Wärme in Bewegung sich umsetzt, sehen wir denn da einen Zusammenhang zwischen der verschwindenden Wärme und der entstehenden Bewegung? Doch wohl nicht. Was aber ist es, was uns die Ueberzeugung einprägt, dass hier die Kraft erhalten und nur in eine andere Form übergegangen ist? Doch nur das quantitative Maass, welches uns zeigt, dass für jede Quantität Wärme, die verschwindet, eine bestimmte Quantität Bewegung wieder erscheint. So ist es im Organismus auch. Man mag sich da noch so sehr mit Uebergangsformen plagen, weit wird man damit nicht kommen. Immer wird es so sein, dass die eine Kraft verschwindet, die andere dafür erscheint. Und dass das Verschwinden der einen mit dem Erscheinen der andern etwas zu thun hat, das werden wir erst von dem Moment an wissen, wo wir gemessen haben, dass sie äquivalent sind.

Daher ruht unsere Ueberzeugung von der Beziehung zwischen den motorischen Ganglienzellen und den motorischen Nervenfasern des Frosches auf einem ganz sicheren Grund, weil Birge sie bei seinen Zählungen gleich gefunden. Dass man den Deiter'schen Fortsatz kennt, kann nur illustriren, wie diese Beziehung ausgeführt ist,

aber selbst wenn man zeigen sollte, dass das DEITER'sche Schema nicht richtig ist, so würde das unsere Vorstellung von der Zusammengehörigkeit gar nicht erschüttern. Wir würden dann nur denken, dass die Kräfte auf einen anderen Weg übergehen, als wir uns seither vorgestellt, und hätten dann diesen anderen Weg zu suchen. Indessen glaube ich nun noch einen Schritt weiter gehen zu dürfen. Was ich seither gesagt, gilt für den Organismus so gut wie für die Welt ausserhalb uns. Es ist nur eine Uebertragung der in der letzteren längst gültigen Forschungsprincipien auf den ersteren. Aber der Organismus ist ein in sich zusammenhängendes Ganze. Sollte dieser innere Zusammenhang denn nicht auch auf bestimmten Zahlen und Maassverhältnissen beruhen? Sollte er sich so anders verhalten wie die anderen organischen Körper, dass in ihm nicht die Zahl der in ihn eingehenden Elementartheile die Natur des Ganzen bestimmte? Ich habe an zwei anderen Orten die Principien zu entwickeln versucht, welche die Verbindung der einzelnen Elementartheile zu einem Organismus beherrschen, und ich will hier nicht weiter darauf eingehen, weil ich da doch weiter ausholen müsste. Aber das scheint mir auch ohne weiteres verständlich, dass wir in einem Organismus erwarten dürfen, es müssen einer bestimmten Anzahl Ganglienzellen durch feste Gesetze bestimmte der Nerven, der Muskelfasern, der Blutzellen, der Drüsenzellen u. s. w. gegenüber stehen. Ja auch das darf ich wohl noch aussprechen, dass das Verhältniss, in dem diese Elemente stehen (der Oekus), das Allercharakteristischste für die Gattung und Art des betreffenden Organismus sein wird. (Eine sehr grobe Spiegelung dieses Zahlenverhältnisses nach aussen erhalten wir z. B. in den Zahnformeln der Säugethiere; die Blattformeln der Pflanzen sind ähnlicher Natur.) Dann muss es aber von höchstem Interesse sein, dieselben kennen zu lernen. Ich sagte oben, dieses Verhältniss beruhe auf fester Anlage, d. h. auf der Natur der im Keim enthaltenen Stoffe. Der Verwirklichung dieser Anlage stellen sich die in der Natur wirkenden Kräfte entgegen, deren Widerstand der Organismus entweder besiegen, oder dem er sich anpassen muss. So werden wir in der hiedurch bewirkten Störung des Zahlenverhältnisses den ganzen Einfluss der Aussenwelt haben.

Die Aufgabe wird dadurch complicirter, aber noch interessanter. Wir können uns nicht begnügen, ein Thier zu durchzählen, wir

müssen eine Reihe von Thieren kennen, um aus ihnen die Zahlen des Oekus ihrer Art zu construiren. Dann werden wir freilich auch über die Wirkungen, welche die äusseren Kräfte auf die innere Oekonomie dieser Thiere ausüben, tiefe Schlüsse ziehen können.

Die vorliegenden Zählungen der Fasern in der weissen Substanz des Frosches können nur ein kleines Glied in dieser Kette sein. Da sie nur an einem Thier durchgeführt worden sind, konnten sie zu Schlüssen über den Einfluss, welchen Uebung und Lebensart auf diese Bahnen hat, noch nicht verwendet werden. Aber der Vergleich der Fasern mit den von Birge früher für Frösche gleicher Grösse ermittelten Zahlen der Nervenwurzeln hat schon zu einer wichtigen Beziehung beider geführt, die einen Theil der Mechanik der weissen Substanz sicher stellt. Die Gesammtmasse der hier zu leistenden Arbeit ist ungeheuer gross, man wird leicht einsehen, dass das der Grund ist, weshalb ich mich so ausführlich über den Zweck derselben ausgesprochen. Ich möchte nicht so isolirt wie seither einen Weg weiter wandern, auf dem Hülfe und Zusammenwirken so Noth thut. Jede Arbeit erhöht hier die Bedeutung der übrigen, weil sie die Zahl der Vergleichspunkte vermehrt. Aber auch durch die hier niedergelegte Methodik glaube ich ein gutes Theil der Erleichterung und Hülfe geschaffen zu haben.

Methodik.

Wir können die Methodik eintheilen 1. in die Vorbereitung zur Zählung und 2. die Zählung selbst. Ich werde anschliessen 3. die Kritik der Zählung und 4. Veranschaulichung der Resultate.

Vorbereitung zur Zählung.

Wie in der einleitenden Vorgeschichte bemerkt, bildete die von Birge geübte Zerlegung des in Paraffin eingebetteten Froschrückenmarks den Ausgangspunkt der Methodik. Gegen die von diesem Autor erzielten Resultate ist so viel ich weiss nur ein einziger Einwand erhoben worden, nämlich von Gad, welcher meinte, es könnte dabei vorgekommen sein, dass Ganglienzellen zerschnitten und auf zwei Schnitten gezählt worden seien. Dass das erstere vorkommt, ist ohne weiteres zuzugeben; aber gegen die daraus gefolgerte Doppelzählung sichert man sich durch ein so einfaches Verfahren,

dass es BIRGE offenbar zu selbstverständlich vorkam, um es zu erwähnen. Man zählt nämlich immer nur solche Stücke, in denen der Kern liegt, und wenn auch dieser zerschnitten sein sollte, was übrigens selten der Fall ist, richtet man sich nach dem Kernkörperchen. Da die BIRGE'schen Zählungen unter meiner fortwährenden Controle stattfanden, kann ich verbürgen, dass diese Regel beachtet wurde, und dass sie also auch gegen diesen Einwand gesichert sind.

Für die Zählung der Nervenfasern waren dünnere Schnitte nothwendig, als BIRGE sie machte. Das Rückenmark, von welchem es gelang, eine fehlerlose Serie herzustellen, und an dem die Zählungen gemacht wurden, wurde in 4560 Schnitte von $^1/_{200}$ mm Dicke zerlegt. Dass bei der Einbettung Nelkenöl und Terpentin vermieden wurden, weil sie offenbar eine Substanz aus den Markscheiden auflösen, habe ich bereits in der Vorgeschichte erwähnt. Die Erhärtung geschah nach WEIGERT's Angaben in ERLYK'scher Flüssigkeit während 21 Tagen im Brutofen bei 39° und im Dunkeln, bei täglichem Wechsel der Flüssigkeit. Dann Auswaschen, 50% starker, zuletzt absoluter Alkohol, Xylol, Xylol und Paraffin und reines Paraffin von 58°. Diese Operationen sind bekannt, sie müssen mit äusserster Sorgfalt unter ganz erfahrener Leitung ausgeführt werden.

Kaum minder wichtig ist es, das Rückenmark bis zur völligen Durchtränkung vor jedem mechanischen Insult zu bewahren. Die äusserste Sorgfalt ist beim Herausnehmen nothwendig; von Druck und Quetschung ganz zu schweigen, kann auch jeder unvorsichtige Zug an demselben die feinen Fasern bis zur Unkenntlichkeit deformiren. Wie das zu machen, kann unmöglich beschrieben werden, doch lehrt es die Erfahrung bald. Man behandelt das Rückenmark schonender, wenn man den Kanal von der Bauchseite eröffnet, als von der Rückseite. Gehirn mit einem Theil des Schädels, sowie die Nervenwurzeln der cauda equina müssen daran bleiben. Man muss das Rückenmark, sobald es herausgenommen ist, aufspannen, damit es sich nicht krümmen kann und auch damit es vor Insulten geschützt ist. Das geschieht auf einer Korkplatte mit Igelstacheln, die durch das Gehirn und die Nervenwurzeln hindurchgesteckt werden. Bei diesem Spannen muss dasselbe ein klein wenig Spielraum behalten, weil es beim Erhärten sich verkürzt. Das Mark bleibt auf der Platte bis zum absoluten Alkohol.

Ich möchte den Rath geben, kein Rückenmark, mit dem irgend ein auch noch so kleines Versehen passirte, für Zählungszwecke weiter zu behandeln. Nützlich dürfte es auch sein, zu wissen, dass kleine Stäubchen, die auf das Präparat kommen und mit eingebettet werden, beim Schneiden von dem Messer mitgeführt werden und die Fasern zerquetschen, ebenso Kryställchen, die sich in der Pia finden. Die letzteren präparirt man am besten ab, wenn man kann. Temporarien im Mai und Esculenten im Juni eignen sich gut, wegen der Klarheit und Schönheit ihrer Fasern.

Ich weiss nicht, ob nicht die Zahl von hundert Rückenmarken überschritten war, bevor es gelang, eine wirklich befriedigende Serie herzustellen. Die Schnitte waren zu je 48 auf einen Objectträger mit der Mischung von Alkohol und Wasser angeklebt. Dieses Ankleben, welches bei den in Sublimat gehärteten Präparaten so leicht gelingt, ist bei diesen so lange in chromsaurem Kali gelegenen Rückenmarkschnitten viel schwieriger. Man muss jeden Schnitt voll auf Flüssigkeit legen und den Objectträger in den Ofen bringen, der für diese Schnitte eine Temperatur von 58° haben muss, bevor die Flüssigkeit völlig verdunstet. Es ist am besten 24 Stunden zu warten, ehe man die weitere Behandlung in Angriff nimmt. Will man sich überzeugen, ob die Schnitte wirklich am Glase haften werden, so braucht man nur den Objectträger umzudrehen. Schimmert dann an der Unterseite der verrätherische Glanz von eingeschlossenen Luftbläschen, so werden die Schnitte wegschwimmen. Es ist offenbar nur die Capillarität, welche die Anheftung bewirkt[1]).

1) Die Methode des Anklebens durch einfache Capillaritätswirkung hat sich noch nicht so eingebürgert, wie sie verdient. Sie hat den grossen Vorzug, dass man keinen Klebstoff in das Präparat hineinbringt, denn dieser wird immer eine reine, discrete Färbung verhindern. Herr Wojnoff hat neuerdings angegeben, dass man auch mit Wasser allein ankleben könne. Ich habe das auch versucht und bin ganz damit einverstanden. Bei hoher Temperatur und weichem Paraffin hat sogar das Wasser einige Vorzüge. Bei niederer Temperatur und hartem Paraffin nimmt man besser die Alkoholmischung. Da die Capillarität das Haften bewirkt, kommt es nur darauf an, die Luftschicht zwischen Schnitt und Glas zu verdrängen, und dazu gehört eine Schmiegsamkeit des Schnittes, die sich gleichweit von Sprödigkeit und Weichheit entfernt hält. Die vorausgegangene Härtungsmethode ist auch von Einfluss; kurze Zeit in Sublimat gelegene Objecte kleben am leichtesten, für die längere Zeit in chromsaurem Kali resp. Erlyk'scher Flüssigkeit gehärteten

Hat man die Antrocknung der Schnitte auf dem Objectträger bewirkt, so thut man wohl, sich unter dem Mikroskop zu überzeugen, dass die Schnitte keine Falten behalten haben. Das ist eine wichtige Sache, weil die Falten ja die Zählung unmöglich machen. Es giebt drei Hauptursachen der Falten: 1) Ein Versehen in der Vorbehandlung. Das ist nicht wieder gut zu machen, weil es in der Regel innere Spannungen zwischen den peripheren und centralen Theilen des Rückenmarks herbeiführt, die sich nicht wieder ausgleichen. 2) Ungleichmässige Messer- und Pinselführung beim Schneiden. Das besiegt man durch Uebung. 3) Sprödigkeit oder Weichheit des Paraffins. Dem begegnet man durch Mischung eines Paraffins von einem Schmelzpunkt, der sich mit der herrschenden Aussentemperatur erhöht oder erniedrigt. Kühlung des Paraffins mit Eisstückchen thut oft sehr gute Dienste[1]).

Gesetzt, die Falten sind nun verschwunden, so wird man die Objectträger in flache Schalen mit Xylol einlegen und in denselben zugedeckt ½ Stunde liegen lassen. Darauf werden sie noch einigemale mit frischem Xylol übergossen um auch das paraffinhaltige Xylol wegzunehmen und in absoluten Alkohol eingelegt. Geben sie in der Alkoholschale beim Umherbewegen keine Schlieren mehr, so legt man sie in Schalen mit destillirtem Wasser. Bei dieser Manipulation wird man nun im Anfang öfters den traurigen Anblick der rasch davon schwimmenden Schnitte haben; allmählich aber mit wachsender Beobachtung und Beherrschung der kleinen Eigenthümlichkeiten verliert sich das, und man wird dann dahin kommen, in nach tausenden zählenden Serien keinen einzigen Schnitt mehr zu verlieren. Gewisse auch dann noch manchmal vorkommende Fehlfälle können oft gar nicht erklärt werden und müssen wohl darauf geschoben werden, dass es auch im Laboratorium Unglückstage giebt, die nicht immer ein Freitag oder ein Dreizehnter zu sein brauchen.

Sind die Schnitte gewässert und fest am Objectträger klebend,

---

Rückenmarke muss eine höhere Trockentemperatur in Anwendung kommen, und so muss man der verschiedenen ursprünglichen Sprödigkeit durch verschiedene Behandlung zu begegnen wissen.

1) Ich würde diese kleinen Winke nicht geben, wenn mich nicht vielerlei Anfragen belehrt hätten, dass sie auch noch bei anderen als der hier in Rede stehenden Aufgabe nützlich sein können.

dann kommen sie in die Farbstofflösung. Dieselbe besteht nach Weigert aus 5 g Hämatoxylin, 50 g Alkohol, 450 ccm destillirtem Wasser und soviel Tropfen Lithium carbonicum, als nothwendig sind, um die Lösung schön roth zu machen. Da Hämatoxylin theuer ist, ist es wünschenswerth, nicht zu viel von der Lösung zu verbrauchen. Da leisten die neuerdings von Leybold in Köln in den Handel gebrachten rechteckigen Glaskästchen mit Leisten gute Dienste. Dieselben nehmen die Objectträger auf der Kante stehend auf, wie die älteren mikroskopischen Präparatenkästchen; man kann sie für das Objectträgerformat, welches man benutzt, passend erhalten und in verschiedener Grösse. Wir stellen in jedes Glaskästchen 10 Objectträger (also 480 Schnitte), füllen mit dem Hämatoxylin und stellen in den auf 58° regulirten heissen Brutofen[1]). Es versteht sich, dass jeder Objectträger von vornherein seine mit dem Diamant eingeritzte Ordnungsnummer trägt, so dass jede Verwechslung unmöglich wird. Das im Handel vorkommende Hämatoxylin hat ungleiche Färbekraft; diesem Umstand ist es wohl zuzuschreiben, dass die Schnitte bald 6, bald 24 Stunden in der Farbstofflösung bleiben mussten Auch kann man die Lösung manchmal ein zweites Mal gebrauchen, unter Zufügung neuen Lithium carbonicum, manchmal nicht.

Sind die Schnitte intensiv schwarz geworden, so kommen die Gläser für einen Moment in destillirtes Wasser, dann in die Weigert'sche Entfärbungsflüssigkeit (2 g Borax, 2,5 g Ferricyankalium, 200 ccm destillirtes Wasser). In fünf Minunten, mitunter auch in 20, ist die Differenzirung vollendet, und man muss herausnehmen, um nicht zu sehr zu entfärben. Am besten ist es ein Mikroskop daneben zu haben, da man ja den Objectträger nur darunter zu legen braucht, um sofort zu sehen, wie weit man ist.

Es folgt dann die gewöhnliche Behandlung: Wasser, Alkohol, Xylol (unter Weglassung des Nelkenöls), Canadabalsam, und man bringt die Schnitte unter Deckglas.

Ein Rückenmark wird auf diese Weise auf 80—100 Objectträger von je 48 Schnitten untergebracht, und die ganze durch die Massenbehandlung der Schnitte merkwürdig erleichterte Procedur

---

1) In meiner mikroskopischen Abtheilung sind immer zwei Brutöfen oder Wärmekasten im Gange, der eine auf 39°, der andere auf 58° regulirt.

lässt sich schliesslich in wenigen Tagen vollenden. Freilich hat man aber viele Monate brauchen müssen, um endlich eine Serie zu erhalten, die wirklich fehlerfrei ist.

Zählung.

Ich wende mich nun zu den für das Zählen selbst getroffenen Veranstaltungen. Die Zählung innerhalb eines Gesichtsfeldes ist einfach genug. Sie erfolgt am besten mit Hülfe des Netzocularmikrometers. Aber die Zählung muss bei einer hohen Vergrösserung erfolgen, und da umfasst ein Gesichtsfeld nur einen sehr kleinen Theil eines zu zählenden Schnittes. Wie soll man nun die Grenzen des gezählten Gesichtsfeldes auf dem Schnitt bemerken und, von einem Gesichtsfeld zum andern gehend, den Schnitt auszählen? Merkmale lassen sich in dem Schnitt selbst nicht finden, wenigstens nicht in der gleichförmigen Fasermasse der weissen Substanz. Man könnte noch eher daran denken, auf dem Glase über oder unter dem Schnitt eine Theilung anzubringen. Aber eine solche Theilung müsste sehr fein sein, die Theilstriche dürften nicht mehr als $^1/_{100}$ mm Abstand haben, und eine so feine Theilung kann nicht hinreichend deutlich mit den Fasern des Schnittes gleichzeitig gesehen werden. Ich kam daher auf den Gedanken, eine Schraubenbewegung zu Hülfe zu nehmen. Offenbar gab es zwei Möglichkeiten. Gesetzt den Fall, ich kenne die Grösse meines Gesichtsfeldes, d. h. ich habe in meinem Gesichtsfeld ein quadratisches Feld von bekannter Breite und Höhe ausgeschnitten, was ich leicht mit Hülfe des Netzocularmikrometers thun kann, so werde ich offenbar diesen Ausschnitt auf immer neue Theile des Schnittes fallen lassen können, wenn ich genau um die Breite oder Höhe verschiebe. Ich lasse so mein Zählfeld über den Schnitt hinüber wandern und messe den Schnitt mit meinen Zählquadraten nach und nach aus. Dabei kommt es auf das Gleiche heraus, ob ich den Tubus des Mikroskops oder den Schnitt resp. den Objecttisch verschiebe. Das letztere ist bequemer und genauer auszuführen. Ich liess also zuerst von Herrn Mechaniker A. PETZOLD in Leipzig einen beweglichen und auf verschiedene Stative leicht anzupassenden Objecttisch anfertigen, dessen obere Platte durch feine Mikrometerschrauben in zwei aufeinander senkrechten Richtungen bewegt werden konnte. Die Höhe eines Ganges der Schrauben

betrug ½ mm. Die Trommeln der Schrauben waren sehr gross genommen und trugen eine Theilung von 50 bez. 100 Theilstrichen. Es war also möglich, eine Verschiebung durch die Schraube um $^1/_{100}$ bez. $^1/_{200}$ mm abzulesen, und noch feiner zu schätzen. Diesen von Herrn Petzold construirten Objecttisch konnte ich leider nach Zürich nicht mitnehmen. Dort traf ich jedoch einen zu einem älteren Plössl'schen Mikroskop gehörigen Schraubenobjecttisch, dessen Mikrometerschrauben sich bei einer Prüfung als sehr genau erwiesen. Derselbe wurde daher in passender Weise justirt, namentlich mit grossen Trommeln und Theilungen versehen. Mit beiden Apparaten wurde bevor sie in Gebrauch kamen mit Hülfe eines Zeiss'schen Objectivmikrometers zunächst eine Prüfung vorgenommen, um mich zu überzeugen, dass die nur aus der Ablesung an der Theilung entnommene Verschiebung des Objectes um $^1/_{100}$ mm auch wirklich $^1/_{100}$ mm betrage. Es zeigte sich, dass für die Länge von 2—3 mm in den mittleren Theilen der Schrauben die mit Hülfe des Glasmikrometers ermittelten Verschiebungen und die an den Theilungen der Trommeln abgelesenen absolut identisch waren. Es wurden also diese Abschnitte der Schrauben für die Benutzung ausgewählt. Die weitere Frage war, ob die beiden Schrauben sich genau senkrecht zu einander bewegten. Auch das wurde durch den Vergleich der Linien des Objectivs und des Ocularmikrometers bei der Bewegung geprüft. Das Resultat war, dass, wenn jede Schraube für sich bewegt, die Linien bei der Verschiebung vollkommen parallel blieben. Wurden dagegen die beiden Schrauben abwechselnd gedreht, so störte die Bewegung der einen immer etwas die andere, so dass keine ganz geradlinige, sondern eine etwas gekrümmte Verschiebung entstand. Die Ungenauigkeit, welche hieraus bei der Zählung eines Schnittes entstand, wurde später bestimmt und erwies sich als wenige hundert Fasern bei dem grössten Schnitt betragend, jedenfalls unter 1 %.

Nachdem so die technische Brauchbarkeit des Bewegungsapparates festgestellt war, bedurfte es noch einer kleinen optischen Hülfe. Der Apparat nahm auf dem Objecttisch die Höhe von etwa 2 cm ein und entfernte um ebensoviel das auf ihm festgeklemmte Präparat von dem Beleuchtungscondensor. Dadurch wurde aber die Beleuchtung zu sehr beeinträchtigt. Ich liess deshalb einen Condensor anfertigen in einer in die Hülse der Cylinderblendung passenden Fassung,

den man durch den Ausschnitt des Schraubentisches hindurch bis dicht unter den Objectträger verschieben kann.

Es kam mir dann weiter der Gedanke, die Aufzeichnung der gewonnenen Zahlen so zu gestalten, dass sie gleichzeitig eine Uebersicht über die Vertheilung der Fasern im Schnitt, und auch eine Controle der Zählung ermögliche.

Dabei handelte es sich einfach darum, die in den Quadraten gezählten Summen in einer übersichtlichen Weise aufzuzeichnen. Was lag näher, als das in derselben Anordnung zu thun, wie sie in dem Schnitt sich vorfanden. Das gebot also eine Einzeichnung der Zahlen in Quadrate, die denen des Ocularmikrometers entsprachen, und eine Reconstruction des Schnittes auf dem Papier in derselben Weise, wie derselbe bei der Zählung zertheilt worden war. In der Wahl der Grösse der Quadrate war ich natürlich nicht beschränkt, und so wählte ich die Quadrate eines Millimeterpapiers von 2 mm Seite, entsprechend einem kleinen Quadrate des Ocularnetzes. Durch eine solche Bestimmung ist natürlich die Vergrösserung, in der bei der Reproduction der ganze Schnitt erscheint, gegeben. Ebenso ist es natürlich willkürlich, in welches Quadrat des Millimeterpapiers ich meine erste Zahl eintragen will; sobald ich dieselbe aber eingetragen habe, ist der Ort aller übrigen Zahlen bestimmt, denn dieselben müssen immer in derselben Reihenfolge erscheinen, wie sie in dem Schnitt liegen. Indem die Quadrate des Millimeterpapiers sich nach und nach mit den eingetragenen Zahlen füllen, entsteht ein Bild der durchzählten Fläche und zum Schlusse des vollständigen Schnittes. Die Contouren des Schnittes werden in diesem Bilde sich natürlich gegen die leeren Felder der Umgebung ganz scharf abheben, ebenso aber auch alle faserarmen Theile gegen alle faserreichen, so dass z. B. die Abgrenzung von weisser und grauer Substanz ganz deutlich hervortritt. Die durch Lichtdruck vervielfältigten Photographien der Zähltabellen, welche dieser Abhandlung beigegeben sind, machen dies Verhältnis deutlich[1]). Ich brauchte dies zu einer sehr wirksamen Controle des Apparates, resp. einer Bestimmung seiner Fehlergrenzen. Offenbar kann ich auf mein Millimeterpapier ebensogut wie die Faserzahlen auch die in den Quadraten sich zeigenden Contouren ein-

1) Vergleiche die Tafeln 2 bis 6.

tragen, und ich werde auf diese Weise ein für die willkürlich gewählte Vergrösserung getreues Umrissbild des Schnittes erhalten. Nun verfahre ich so, dass ich einmal in einer Ordnung den Schnitt durch die Schrauben an den Quadraten vorüberführe und alle Contouren einzeichne, das andere Mal in entgegengesetzter Ordnung die Fasern zählend und eintragend. Es müssen so zwei Bilder entstehen, in denen die einzelnen Theile durch entgegengesetzte Wirkungen der Schrauben ausgemessen sind. Haben die Schrauben exact gearbeitet, dann müssen die beiden Bilder sich decken, es dürfen keine Fasern ausserhalb der Contouren liegen, und keine Contouren auf die leeren Felder der Umgebung übergreifen. Thatsächlich thun sie das nun nicht, die Bilder decken sich nicht ganz, weil, wie ich am Eingang bemerkte, die Bewegung einer Schraube immer die darauf senkrecht gerichtete etwas stört. Aber die Ungenauigkeit ist eine kleine, sie beträgt etwa 1% der gesammten Faserzahl.

Abgesehen davon nun, dass man auf diese Weise wirkliche Karten herstellt, in denen der Faserwerth jeder einzelnen Stelle des Rückenmarks gefunden werden kann, Documente also, die unendlich werthvoller sind, als die blosse Summirung, hat dies Verfahren auch noch den Vortheil einer grossen Erleichterung des Zählens selbst. Man überblickt jeden Augenblick, was man gezählt hat, und man kann es immer unterbrechen. Das ist sehr wichtig, denn bei der grossen Ermüdung, welche das Zählen mit sich bringt, dauert es einen Monat und darüber, bis man einen der grossen Schnitte mit 50—70000 Fasern durchgezählt hat. Da kann man dann mittelst eines einfachen Kunstgriffes es ermöglichen, jeden Augenblick die Stelle, an der man weiterzählen will, wieder aufzufinden. Man braucht nur in jedes Quadrat die Schraubenstellung einzuzeichnen, bei der es gezählt wurde. Doch auch das ist noch zu umständlich, man kann es noch einfacher machen. Offenbar sind ja alle ausgezogenen Verticallinien und ebenso die Horizontallinien meines Millimeterpapiers gleichweit von einander entfernt, und wenn ich daher für je zwei ermittelt habe, wieviel Theilstriche der Vertical- resp. der Horizontalschraube ihr Abstand repräsentirt, habe ich es für alle ermittelt. Sobald ich dies gethan habe, und meine erste Zahl in das dazu ausgewählte Quadrat eingetragen ist, kann ich an alle Vertical- und Horizontallinien die Schraubenstellungen anschreiben, die

ihnen entsprechen. Damit ist offenbar für jedes Quadrat meiner Karte bestimmt, welche Stelle des Schnittes ihr entspricht, und ich kann nun meine Eintragungen in ganz beliebiger Reihenfolge vollziehen.

Gewöhnlich habe ich nicht der Reihe nach meine Quadrate ausgefüllt, sondern ich bin nach je 100 Zahlen in einen andern Theil des Schnittes übergegangen, um den Einfluss der Ermüdung möglichst gleichmässig zu vertheilen. Das Wiederaufsuchen einer Stelle, um die Zählung zu controliren, ergiebt sich nach diesem Verfahren auch von selbst. Das Einzige wovor man sich hüten muss, ist, dass der Schnitt sich nicht auf dem Schraubenobjecttisch selbst verrückt. Dagegen ist durch gute, starke Klammern Vorsorge getroffen. Man kann aber auch in die Lage kommen, einen Schnitt, den man bereits weggenommen hat, noch einmal durchnehmen zu wollen. Dann muss man ihn auf dem Objecttisch so lange zurechtrücken, bis die Contouren bei derselben Stellung der Schrauben mit dem alten Bilde wieder übereinstimmen.

Kritik der Zählung.

Die Kritik kann sich erstrecken auf das Wie der Zählung und auf das, Was gezählt wurde. In Bezug auf das Wie der Zählung soll hier nicht behauptet werden, dass das bequemste und beste Verfahren gewählt wurde. Ich wählte eben das Verfahren, welches mir durch die zugänglichen Hülfsmittel dictirt war. Sollte ich eine neue derartige Aufgabe in Angriff nehmen, so würde ich versuchen, die Elemente nicht im directen, sondern im projicirten Bilde zu zählen (mit Hülfe des ZEISS'schen Apparates), was viel leichter ist. Zu beweisen ist für diese Zählung, dass sie hinreichend genau ausgefallen ist. Einige der Controlen, denen ich mein Verfahren unterwarf, habe ich in der Methodik auseinandergesetzt. Wie steht es mit der Controle der Resultate? Als beste Controle erschien mir die Vergleichung der beiden Seiten. Dass beide Seiten des Rückenmarks gleichviel weisse Fasern enthalten werden, ist von vornherein anzunehmen. Wir haben um so mehr Ursache dazu, als BIRGE auch gleichviel motorische Ganglienzellen auf beiden Seiten gefunden hat.

Wie verhalten sich nun die Zahlen, die unsere Zählung auf beiden Seiten ergeben hat? Es sind die folgenden:

1 Vor d. Uebergang d. Rückenmarks in d. Med. obl.	2 Innerhalb der Wurzel des 2. Nerves	3 In der Gegend des 4. Nerves	4 Ueber dem 6. Nerv	5 Unter dem 9. Nerv	1)
Rechts 28429	36707	21579	30141	8296	
Links 28245	37992	20246	30917	8017	

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen ist keine erkünstelte, durch irgend welche Rücksichtnahme auf das Resultat beeinflusste. Die Originalzählungstabellen sind in facsimile der Arbeit beigegeben, Jedermann kann die Eintragungen und Addirungen controliren[1]). Wir können deshalb annehmen, dass die Abweichungen der Zahlen der beiden Seiten von einander das Maass der Fehler d. h. der Genauigkeit der Zählung darstellt. Dieselbe ist nicht in allen Schnitten gleich gross. Das rührt zum Theil daher, dass die Schnitte nicht gleich gut zu zählen sind, zum Theil auch von der Schwierigkeit, die beiden Seiten von einander abzutrennen, denn die Fissuren und Septen, die dies bewirken, dringen nicht in allen Schnitten gleich tief ein.

Ich wende mich nun zu der Frage, Was gezählt wurde.

Die Zahl und der Ort der Schnitte entsprach einer von der K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften gestellten Bestimmung, die sich auch als durchaus zweckmässig erwies, weil sie eine völlige Uebersicht über die Vertheilung der Fasern im Mark gewährte. Aber Was wurde in den Schnitten gezählt?

Nervenfasern natürlich. Die Nervenfaser war in unseren Präparaten charakterisirt durch die Weigert'sche Markscheidenreaction. Diese Reaction ist eine chemische Reaction auf einen bestimmten Stoff. Wenn dieser sich nun auch vorzugsweise in der Markscheide findet, so ist doch noch nicht gesagt, dass er sich ausschliesslich da findet. Man wird deshalb nicht blindlings jedes diese Reaction zeigende Gebilde als Nervenfaser zählen können, sondern man wird eine gewisse Kritik üben müssen, indem man auch andere Charaktere, namentlich die morphologischen, zu Hülfe nimmt. Die Nervenfaser ist ein organisches Gebilde, und das bedeutet, dass sie in ihrer Erscheinung viele Abstufungen zeigt. Schon der Querschnitt des Säugethiermarkes

1) Die fünf an den hier bezeichneten Stellen entnommenen Schnitte, welche durchgezählt wurden, werden in der Folge immer kurz durch die Zahlen 1 2 3 4 5 bezeichnet werden. Die facsimilia der Zählungen sind auf Tafel 2 bis 6, die Schnitte selbst auf Tafel 7 und 8 photographisch wiedergegeben.

zeigt Fasern verschiedener Dicke. Das Bild des Froschmarkes ist noch viel bunter, wie die auf Tafel 9 beigegebene Photographie einer Stelle der Vorderstränge mit dem 4 mm Apochromaten von Zeiss zeigt. Wie die Aufzeichnung der Faserzahlen an die Sternkarten gemahnt, so wird man auch an das Bild des Sternenhimmels erinnert und möchte Fasern 1. bis 12. Grösse unterscheiden. Schliesslich muss man sich fragen, bis zu welcher Grösse man die im Querschnitt auftretenden Bilder noch als Faser rechnen und in die Zählung aufnehmen will. Ich habe mir überlegt, dass man Allem, was eine durch die üblichen Reactionen erkennbare Markscheide besitze und eine durch mehrere Querschnitte verfolgbare Längsausdehnung habe, den Charakter einer Nervenfaser nicht absprechen dürfe. Die dahin gehörigen Gebilde zeigen sich auf dem nach Weigert behandelten Querschnitte (mit Apochrom. 4 mm) als ein deutlicher wenn auch kleiner Ring mit heller Mitte.

Es giebt daneben noch punktförmige Gebilde, welche sich auch mit Immersionslinsen nicht zu einem Ring auflösen lassen. Diese wurden nicht gezählt. Da sie auch die Längsausdehnung vermissen liessen, so erweckten sie den Verdacht, dass sie nur als Material für die Anlage von Markscheiden anzusehen seien. Jedenfalls konnten sie die Bedeutung von Fasern nicht haben. Die Zahl der Elemente, welche als zweifelhaft zu bezeichnen ist, ist nicht sehr gross, nicht 5 % der ganzen Zahl.

Wenn nun auch allen den gezählten Elementen die Leitung in der Längsrichtung als gemeinschaftliche Aufgabe zugeschrieben werden muss, so ist doch jedenfalls die Bedeutung, die sie für das ganze System haben, eine sehr verschiedene je nach ihrer Grösse. Die ganz grossen gehen z. B. wahrscheinlich durch die ganze oder den grössten Theil der Länge des Markes, die ganz kleinen nur durch einige Querschnitte. Es wäre daher eine Classification, etwa wie die der Sterne, und der Entwurf eines classificirten Catalogs wünschenswerth gewesen. Das wäre aber nicht gegangen ohne die Messung jeder einzelnen Faser, und das hätte die Aufgabe ungemein vergrössert. Ich kam daher auf den Gedanken, meine Zählkarte durch eine bei gleicher Vergrösserung entworfene Photographie zu ergänzen. Eine solche Photographie musste ebenso durch successive Photographirung der einzelnen Gesichtsfelder und Zusammensetzung mit Hülfe der mechanischen Verschiebung entstehen, wie die Tabelle durch Zählung.

Der Photograph, den ich damit betraute, verglich die Sache mit der photographischen Aufnahme des Himmels. Als dieselbe ausgeführt wurde, zeigte sie einen grossen Missstand. Es waren nämlich nur immer die centralen Theile des Gesichtsfeldes so wiedergegeben, dass man die Fasern darin zählen konnte, die peripheren Theile waren nebelhaft. Die ganze Photographie war also ein Mosaik von deutlichen und undeutlichen Stellen. Das bewies, dass auch die besten Objective, sobald sie einen gewissen Vergrösserungswerth übersteigen, noch nicht so aplanatisch und corrigirt sind, dass Centrum und Rand gleich deutlich und in derselben Ebene abgebildet werden. Beim Zählen ersetzen wir das durch Accommodation und Mikrometerschraube. Man hätte daran denken können, durch besondere Blenden den centralen Theil des Bildes herauszuschneiden und auf diese Weise die Karte zusammenzusetzen, indessen hätte die Ausführung solche Kosten verursacht, dass ich davon abstand.

Die Photographien der Schnitte bei schwächerer Vergrösserung, die ich der Arbeit beigebe[1]), gestatten schon zu erkennen, dass die grösseren Fasern sich in den Vorder- und Hintersträngen finden, dass die Seitenstränge feine Fasern führen und dadurch ein anderes Aussehen gewinnen. Auch liegen diese feinen Fasern eingebettet in Neuroglia, und ein mehrere Mikren breiter Streif am äusseren Rand der Seitenstränge, sowie eine Stelle in der Nähe der Hinternervwurzeln ist fast frei von Fasern.

Resultate.

Als die wesentlichen Resultate sind anzusehen die sechs Tabellen, auf welchen die gewonnenen Zahlen topographisch eingetragen sind. In jedem einzelnen Schnitt geben diese Tabellen die Vertheilung der Fasern über die verschiedenen Stränge, in ihrer Gesammtheit über das ganze Mark. Für jeden Grössenbezirk kann sofort aus ihnen die Zahl der in ihm enthaltenen Fasern festgestellt werden. Sie sind die Karten noch nicht des typischen Froschrückenmarks (denn das kann erst nach und nach construirt werden), aber doch eines Froschrückenmarks, und an ihre festen Werthe können sich nun alle Erfahrungen anlehnen, die wir über die Variationen machen; in sie

1) s. Tafel 7 und 8.

können wir eintragen alle Degenerationen, alle Missbildungen, alle experimentellen Zerstörungen, die wir im Froschrückenmark antreffen, und können erfahren, um wieviel Fasern es sich handelt.

Wenn nun auch die aus den Tabellen durch Summirung gewonnenen Zahlen an Wichtigkeit nicht über dieselben hinausgehen, dürfte es doch interessiren, dieselben hier zusammenzustellen:

1	2	3	4	5
56674	74699	44825	61058	46343

Das also sind die Gesammtzahlen. Die für die beiden Hälften sind bereits oben gegeben in der Kritik der Zählung.

Grosse Schwierigkeit macht es, die Vertheilung der Fasern auf die einzelnen Stränge zu ermitteln, weil die Stränge sich so undeutlich von einander absetzen. Ich gebe im Folgenden die Uebersicht, in der die Hinterstränge den meisten Anspruch auf Genauigkeit haben, weil sie eben am besten abgegrenzt sind.

	1		2		3		4		5	
Hinterstränge										
Rechts	4862	8966	6345	13120	3030	6110	3998	7854	1659	3401
Links	4104		6775		3080		3856		1742	
Vorderstränge										
Rechts	7499	14881	9966	21566	4578	9098	7877	16091	2067	3814
Links	7382		11600		4520		8214		1747	
Seitenstränge										
Rechts	14701	29887	19131	36592	13134	25345	16478	33853	4354	8596
Links	15186		17461		12211		17375		4242	
		53734		74278		40553		57798		15811

Ueber Eines belehrt die Tabelle sofort, dass nämlich die Hinterstränge die geringste Faserzahl haben, dann kommen die Vorderstränge, und die Seitenstränge haben mehr als beide zusammen.

Die hier gegebenen Summen erreichen nicht ganz die Gesammtzahlen, die Differenz würde also auf die Fasern kommen, die in der grauen Substanz liegen. Um aber Missverständnisse zu vermeiden, will ich bemerken, dass die meisten dieser Fasern nicht in der eigentlichen grauen Substanz liegen, sondern an der Grenze der weissen. Ich habe, da eine scharfe natürliche Grenze nicht existirt, meine Grenze da gezogen, wo mehr als drei Fasern in einem kleinen Quadrat

erscheinen. Ein grosser Theil der auf diese Weise der grauen Substanz zugetheilten Fasern gehört also der Uebergangsschicht von grauer zu weisser Substanz an.

Es erschien mir dann nützlich, auch das Areal der einzelnen Schnitte mit den Faserzahlen zu vergleichen, da hierdurch ein Ueberblick über die Grösse und Dichtheit der Fasern sich ergiebt.

Folgendes sind zunächst die Verhältnisszahlen des Gesammtareals:

1	2	3	4	5
8661	8454	4445	6251	2059

Vergleichen wir zunächst Gesammtareal mit Gesammtzahlen, so sehen wir, dass der erste Schnitt an der Grenze der Medulla ein grösseres Areal, aber eine geringere Faserzahl hat. Die Fasern müssen also in ihm weniger dicht liegen, was sich zum Theil daraus erklärt, dass sie nicht mehr rein quer getroffen werden, weil sie ihre Richtung zu ändern beginnen.

Folgendes sind die Verhältnisszahlen a) der Faserzahlen, b) der Areale:

	1—2	2—3	3—4	4—5
a)	1 : 0,98	1 : 0,52	1 : 1,4	1 : 0,3
b)	1 : 1,3	1 : 0,56	1 : 1,4	1 : 0,2

welche andeuten, dass in der Lumbal- und Brachialanschwellung die Fasern am dichtesten liegen, nach oben und unten aber auseinanderweichen.

Am besten glaube ich dann diese Resultate graphisch zu veranschaulichen. Ich wähle als (vertical gestellte) Abscisse die Länge des Markes, gemessen durch die Zahl der Schnitte. An den zukommenden Stellen trage ich dann die ermittelten Werthe der einzelnen Schnitte auf, und zwar in rechten und linken Ordinaten. Farbige Linien[1]) verbinden dann die einzelnen Ordinatenwerthe, und zwar bedeutet:

Roth die Gesammtzahl der Fasern (immer der entsprech. Hälfte),
Orange das Gesammtareal der betr. Hälfte,
Grau das Areal der grauen Substanz allein,
Grün die Faserzahl der Hinterstränge allein,
Blau » » » Vorder- und Seitenstränge zusammen.

1) An Stelle der farbigen Linien sind in der beigegebenen Tafel I punktirte Linien getreten, die auf der Tafel selbst erläutert sind.

Discussion der Resultate.

Die Betrachtung der am Ende des vorigen Abschnittes gegebenen graphischen Darstellung muss Jeden, den die Mechanik des Rückenmarks interessirt, zum Nachdenken anregen. Wäre die alte Hypothese richtig, dass die Fasern der weissen Substanz die directe Fortsetzung der peripheren Nervenwurzeln seien, dann hätten wir eine ganz andere Figur zu erwarten, nämlich einen Kegel mit breiter Basis an der Medulla oblongata und der Spitze am Ursprung des X^ten^ Nerven. Aber diese Hypothese ist längst abgethan, und so brauchen wir uns nicht zu wundern, dass unsere Figur derselben nicht entspricht. Die allgemeine Annahme ist vielmehr jetzt, dass die Fasern der Nervenwurzeln sämmtlich, oder vielleicht mit Ausnahme eines Theiles der hinteren Wurzeln, in die graue Substanz des Rückenmarks eintreten. Die Fasern der weissen Substanz haben also direct mit ihren Verwandten in den Wurzeln nichts zu thun, sie dienen vielmehr zur Verbindung verschiedener Abschnitte der grauen Substanz unter einander, also theils innerhalb des Rückenmarks selbst (kurze Bahnen), theils mit der Medulla oblongata und den höher gelegenen Abschnitten des Gehirns (lange Bahnen).

Theils auf Grund der pathologischen Erfahrungen, theils auf Grund der experimentell erzeugten Degenerationen, theils auf Grund der entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen sind dann weiter in der Gesammtmasse der weissen Fasern diejenigen Bündel ausfindig gemacht worden, welche den einzelnen Verbindungen dienen. Das darf ich wohl als bekannt voraussetzen. Für den Frosch ist das freilich noch nicht nachgewiesen worden, und es mag ja auch einstweilen zweifelhaft bleiben, ob in ihm dasselbe Verbindungsschema mit den einzelnen Hirnabschnitten sich realisiren lässt, wie bei den höheren Wirbelthieren. Nach den Untersuchungen Wlassak's über die Verbindungen mit dem Kleinhirn ist das immerhin wahrscheinlich. Jedenfalls aber darf wohl angenommen werden, dass die weisse Substanz des Froschrückenmarks dieselbe Aufgabe habe wie beim Säugethier, nämlich die Verbindung der verschiedenen Abschnitte der grauen Substanz untereinander. Dann zeigt ein Blick auf die graphische Darstellung, dass die Anschwellungen, welche die Faserzahlen in der Gegend des zweiten und des siebenten Nerven zeigen (Brachial-

und Lumbalgegend), verursacht sein müssen durch kurze Fasern, welche nicht über den Bereich der Region, der sie angehören, hinausgehen. Die Zahl dieser kurzen Bahnen kann ungefähr ermittelt werden, wenn man den Schnitt im zweiten Nerven mit dem in dem Uebergang zur Medulla vergleicht, und ebenso den im sechsten mit dem im vierten. Das eine Mal beträgt die Differenz 1 : 1,3, das andere Mal 1 : 1,4, welche also nicht lang genug waren, den anderen Schnitt zu erreichen. Vergleicht man die drei ersten Schnitte (Uebergänge zweiter und vierter Nerv), so sieht man, dass diese kurzen Bahnen nach oben und nach unten verschwinden, also ungefähr die Länge der Armanschwellung decken. Ein ähnliches Verhältniss dürfte wohl für die Beinanschwellung existiren, und die Vergleichung ergiebt, dass beiden wohl annähernd gleich viel kurze Fasern angehören (vielleicht der Armanschwellung etwas mehr). Die Beinanschwellung sinkt zwar vom sechsten zum neunten Schnitt von 61058 auf 16313 Fasern ab, aber da jenseits des neunten Nerven nur noch die wenigen Wurzelfasern und Ganglienzellen des zehnten Nerven sich finden, so müssen hier alle Bahnen verschwinden, nicht blos die kurzen. Wir werden also vorläufig annehmen, dass ca. $^1/_3$ der Fasern in der Arm- und Beinanschwellung als kurze Bahnen zu rechnen seien. Die langen Bahnen, welche das Rückenmark mit den höher gelegenen Abschnitten verbinden, werden wir wohl an der Uebergangsstelle zur Medulla oblongata finden, und wir dürfen wohl annehmen, dass der grösste Theil der Fasern dieses Schnittes dieser Kategorie angehört. Nun werden diese langen Bahnen von oben nach unten abnehmen, indem sie sich auf die graue Substanz vertheilen (nicht alle Fasern dieser Art werden im eigentlichen Sinne die Bezeichnung lang verdienen, z. B. diejenigen nicht, die aus der Med. obl. in die oberen Theile des Rückenmarks übergehen). Würden wir vorläufig einmal annehmen, dass auch in Bezug auf Fasern dieser Kategorie Arm- und Lendenanschwellung sich gleich verhalten, so erhielten wir von den 56000 Fasern des ersten Schnittes 28000, welche noch innerhalb der Armanschwellung endigen, 28000, welche darüber hinaus bis zur Lendenanschwellung gehen. Nun enthält der Schnitt, welcher sich zwischen Arm- und Lendenanschwellung findet, 41000 Fasern. Es müssen also ausser den 28000 Fasern, welche wir vorläufig als lange Bahnen in Anspruch nehmen, noch 13000 Fasern in ihm vorhanden sein. Diese

13000 Fasern, welche zwischen Arm- und Lendenanschwellung gezählt werden und die jenseits der Arm- und Lendenanschwellung nicht mehr vorhanden sind, gehören offenbar einem System an, das die beiden Anschwellungen mit einander verbindet. Ich will es das System der mittleren Bahnen nennen. Wir gelangen also zu einer Eintheilung unserer Fasern in drei Systeme:

a) kurze Bahnen: innerhalb der gleichen Bezirke verbindend; es giebt kurze Bahnen in der Arm- und Lendenanschwellung,

b) mittlere » verschiedene Bezirke des Rückenmarks verbindend; nur zwischen Arm- u. Lendenanschwellung;

c) lange » Bezirke des Rückenmarks mit Gehirn verbindend; in allen Theilen des Rückenmarks.

Die Vertheilung der in den einzelnen Bezirken gezählten Fasern können wir einstweilen roh abschätzen, nämlich:

1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	5. Schnitt
a) —	a) 20000	a) —	a) 20000	
b) —	b) 13000	b) 13000	b) 13000	10000
c) 56000	c) 28000 + 13000	c) 28000	c) 28000	

Diese Schätzung hat noch einen sehr geringen Werth. Leben und Bedeutung erlangen diese Zahlen erst für uns, wenn wir sie in Beziehung bringen zu den in den Nervenwurzeln enthaltenen Fasern. Dann, wenn wir uns vorstellen können, wie jeder in das Rückenmark eintretende Nerv die weisse Substanz an- oder abschwellen macht, wie er zum Ausgangs- oder zum Zielpunkt der in der weissen Substanz auf- oder absteigenden Fasern wird, wenn daran sich anknüpfen können Vorstellungen über den Einfluss, welchen diese Fasern auf die Vorgänge in den Nerven und im Rückenmark haben, dann erst werden wir einsehen, warum wir in einer bestimmten Höhe des Rückenmarks gerade soviel und nicht mehr Fasern der weissen Substanz antreffen müssen.

Die Herstellung solcher Beziehungen ist aber möglich. Birge hat in seiner oben citirten Arbeit die Wurzeln eines Frosches von

60 g, also von dem gleichen Gewicht, wie derjenige, der hier zur Zählung des Rückenmarks diente, durchgezählt. Wir können also für unser Rückenmark feststellen, wieviel motorische, wieviel sensible Fasern in dasselbe eintreten, und wir wissen auch, da Birge auch die Eintrittsstellen der Nerven genau bestimmt hat, in welchen Schnitten wir den Einfluss dieser Wurzelfasern zu suchen haben.

Aber welches ist dieser Einfluss? Haben wir eine, haben wir viele, haben wir überhaupt eine bestimmte Anzahl von Fasern in der weissen Substanz zu erwarten für jede Faser in den peripheren Nerven? Um dies deutlich zu machen, will ich eine Hypothese entwicklen über die Beziehungen, die wir zwischen den Fasern der peripheren Nerven und denen der weissen Substanz zu erwarten haben. Ich will, indem ich diese Hypothese voranstelle, nicht in dem Leser den Glauben erwecken, als sei ich mit derselben etwa an die Zählungen herangetreten. So einfach die physiologischen Beziehungen auch sind, aus denen ich dieselbe ableitete, so ist mir doch deren Wirkung auf die Faserzahlen erst klar geworden, als ich die letzteren lange kannte, und schon viele Versuche gemacht hatte zu erklären, warum hier so viele, dort so viele Fasern seien. Nur allmählich, nachdem an der unerbittlichen Logik der Ziffern viele Erklärungsversuche zu Schanden geworden waren, bin ich auf die Annahmen gekommen, die, nachdem sie sich als die richtigen erwiesen, mir dann auch als die vernünftigsten einleuchteten.

Zunächst will ich den Satz vertheidigen, dass keine Faser in der weissen Substanz angetroffen werden kann, welche nicht in einer Beziehung zu einer Faser der Nervenwurzeln steht. Da die Nervenwurzeln die einzigen bekannten nervösen Verbindungen des Rückenmarks mit dem übrigen Körper darstellen, so würde eine Faser, die gar nichts mit ihnen zu thun hätte, einem Vorgange dienen, der weder von dem übrigen Körper aus ausgelöst werden könnte, noch irgend welchen Vorgang im übrigen Körper auslösen könnte. Einen solchen Vorgang haben wir bis jetzt unter den nervösen Vorgängen noch nie angetroffen, er ist auch ganz unvereinbar mit Allem, was wir sonst über dieselben wissen. Wir werden also annehmen, alle Fasern der weissen Substanz stehen in functioneller Beziehung zu den Wurzelfasern. Ueber die morphologischen Theile, durch die diese functionelle Beziehung in eine Verbindung umgewandelt wird, wollen wir

keine Hypothese machen. Es genügt zu wissen, dass die Wurzelfasern da, wo sie in das Rückenmark eintreten, ein centrales Ende haben, und dass die Fasern der weissen Substanz irgendwo in der Nähe ihren Anfang haben. Dazwischen liegt eine unbekannte Verbindung, die im einfachsten Falle vielleicht eine ganz directe sein kann, oder die durch Ganglienzellen hergestellt sein kann, oder durch Nervennetze, oder durch Neurogliabahnen, oder auf vorläufig ganz unbekanntem Wege.

Lassen wir das dahingestellt und halten nur fest

Satz 1. Dass jede Faser der weissen Substanz dem centralen Ende einer Wurzelfaser functionell zugeordnet sein muss.

Wir werden dann ohne Weiteres auch zugeben den schon in den früheren Abschnitten besprochenen

Satz 2. Die Fasern der weissen Substanz stellen die Verbindungen der centralen Enden der Wurzelfasern unter einander und mit dem Gehirn dar.

Aus ganz bekannten physiologischen Ueberlegungen ergiebt sich dann

Satz 3. Es ist möglich, diese Verbindungen in drei Classen einzutheilen:

a) Verbindungen, welche über das Rückenmark hinausgehen zur Medulla oblongata und anderen Hirnabschnitten: lange Bahnen;

b) Verbindungen, welche innerhalb des Rückenmarks die Hauptgliederungen desselben unter einander verbinden (Halsmark, Brustmark, Lendenmark, Schultergürtel, Rumpf, Beckengürtel): mittlere Bahnen;

c) Verbindungen, welche innerhalb desselben Bezirkes alle einzelnen Elemente zusammenordnen: kurze Bahnen.

Satz 4 ist ein meiner Hypothese eigenthümlicher und für dieselbe charakteristischer:

Zu dem centralen Ende jeder Wurzelfaser ist eine bestimmte Zahl von Fasern der weissen Substanz zugeordnet, und zwar für alle die gleiche.

So selbstverständlich dieser Satz dem Unbefangenen erscheint, so viel Anstoss erregt er vielleicht bei Denjenigen, die sich schon ein wenig mit der Architectur des Nervensystems vertraut gemacht haben. Die Zählungen lassen aber keinen Zweifel, dass er richtig ist. Ich sehe in diesem Satz eine Bestätigung der in meinem Aufsatz über den Oekus der Zellen ausgesprochenen Theorie, dass die relativen Zahlen aller Elemente eines Organismus durch Gesetze geordnet sind, so dass jedes Element der einen Art eine bestimmte Zahl von Elementen der andern Art fordert. Eine gewisse Annäherung dieses Satzes an die herrschenden Vorstellungen liegt darin, dass er nur für die ursprüngliche Anlage der Elemente gilt, dass dann aber die Uebung dazu kommt, welche einzelne dieser Elemente stärker ausbildet wie die anderen, und dadurch gewissen Bahnen weit den Vorrang verschafft vor anderen. Der Satz stimmt mit den Zählungen, weil diese alle Fasern umfassen, aber die verschiedene Dicke der Fasern, die ich schon hervorhob, beweist, dass dieselben eine sehr verschiedene Ausbildung erfahren haben.

Satz 5. Die centralen Enden der Wurzelfasern und daher anch die Ausgangspunkte der zugehörigen Fasern liegen nicht weit entfernt von dem Eintritt der Wurzeln ins Rückenmark.

Für die Fasern der vorderen Wurzeln ist dieser Satz durch Birge bewiesen, für die übrigen ist er die einfachste Hypothese.

Satz 6. Die Länge der Fasern der weissen Substanz ist von ihrer Aufgabe abhängig, d. h. von der Distanz der zu verbindenden Abschnitte.

Es ist wichtig, zu wissen, wie weit man eine einmal entstandene Bahn antreffen wird, und nur durch ganz präcise Vorstellungen schützt man sich vor Willkür. Die Länge der sogen. langen Bahnen hängt ab von dem Abstande der zugehörigen Wurzelfasern vom Gehirn. Sie sind also unter sich sehr verschieden lang. Die mittleren Bahnen haben eine Länge, die der Distanz der Mittelpunkte der verbundenen Rückenmarksabschnitte entspricht. Die kurzen Bahnen haben im Mittel die halbe Länge des Bezirks, dem sie zugehören, indem sie von der zugehörigen Wurzelfaser nach beiden Seiten die Enden des Bezirkes zu erreichen suchen. Liegt die Wurzelfaser in der Mitte des Bezirkes, z. B. der Armanschwellung, so werden die

zugehörigen kurzen Bahnen in der That die ganze Armanschwellung durchziehen; liegt sie dagegen am unteren Ende, so wird die aufsteigende kurze Bahn gerade bis in die Mitte hineinragen, die absteigende wird in das Brustmark hinübergehen und mit dessen nächstgelegenen Theilen sich verbinden. Aus dieser Bestimmung kann man sich die Vertheilung aller kurzen Bahnen ableiten.

Satz 7. Zu den langen Bahnen ordnet das centrale Ende jeder Wurzelfaser zwei Verbindungen ab, eine auf der gleichen, die andere auf der gekreuzten Seite.

Zu den mittleren Bahnen eine Verbindung, welche für die Fasern der oberen Rückenmarkshälfte absteigend, für die der unteren Rückenmarkshälfte aufsteigend zu denken ist.

Zu den kurzen Bahnen acht Verbindungen, nämlich zwei Verbindungen, welche aufsteigen, also die Elemente im oberen Abschnitt desselben Bezirks aufsuchen, und zwei, welche absteigen, dann die gleichen Verbindungen auf der gekreuzten Seite zur Herstellung des Zusammenwirkens mit dem anderen Gliede.

Hier ist der einzige Punkt, wo nicht die allereinfachste Annahme gemacht worden ist, denn offenbar würden für diese je ein Element von einer Art, also vier im Ganzen genügen. Warum diese Zahl verdoppelt ist, kann ich vorläufig nicht angeben. Es braucht für den mit einiger Vorstellungskraft begabten Leser wohl nicht hervorgehoben zu werden, dass in einem Schnitt nur immer die Hälfte der zu einer Wurzelfaser gehörigen kurzen Bahnen, nämlich entweder die absteigenden oder die aufsteigenden, getroffen werden können.

Bis hierhin mag es nun dem Leser freistehen, die angeführten Sätze anzunehmen oder nicht, es hängt davon ab, ob sie ihm plausibel erscheinen. Nun wollen wir untersuchen, ob die aus diesen Sätzen abgeleiteten Zahlen derart mit der Wirklichkeit übereinstimmen, dass wir gezwungen werden können, sie für wahr zu halten. Wir müssen natürlich ausgehen von den durch BIRGE ermittelten Zahlen der Wurzelfasern.

Derselbe fand bei einem Frosch von 60 g Gewicht

			Fasern auf einer Seite		
I.	Nerv	motorische	785	sensible	127
II.	»	»	1392	»	1649
III.	»	»	481	»	264
IV.	»	»	106	»	198
V.	»	»	114	»	229
VI.	»	»	159	»	187
VII.	»	»	142	»	562
VIII.	»	»	870	»	1101
IX.	»	»	441	»	993
X.	»	»	212	»	41

Wir könnten, da Birge auch die Eintrittsstellen der Nerven abgemessen hat, durch Eintragung dieser Faserzahlen an die natürlichen Eintrittsstellen ein Schema gewinnen, in dem die Zahl, Ausgangspunkte und Länge der Verbindungsfasern nach den vorausgegangenen Sätzen bestimmt und so ein Bild von der wirklichen Vertheilung der Fasern in der weissen Substanz gewonnen würde.

Um ohne Schema auszukommen, denken wir uns die Wurzelfasern in folgender Weise auf die drei Abschnitte des Rückenmarks vertheilt:

Armanschwellung	1.	Nerv	mot.	785	sens.	127	zusamm.	2177	
	2.	»	»	1392	»	1649		1796	3973
				2177		1796			
Brustmark	3.	»	»	481	»	264			
	4.	»	»	106	»	198			
	5.	»	»	114	»	229	»	860	
	6.	»	»	159	»	187		878	1738
				860		878			
Lendenanschwellung	7.	»	»	142	»	562			
	8.	»	»	870	»	1101			
	9.	»	»	441	»	993		1665	
	10.	»	»	212	»	41	»	2697	4352
				1665		2697			

Wir werfen motorische und sensible Fasern zusammen, da wir ja doch in der weissen Substanz noch nicht entdecken können, welche Verbindungen der einen oder der andern Art angehören,

und da sie sich in Bezug auf die Art der Verbindungen gleich verhalten. Ferner sind wir uns bewusst, dass wir willkürliche Abgrenzungen machen und daher nicht genaue, sondern nur Mittelwerthe erhalten. Daher ist eine Abrundung der Ziffern erlaubt, zumal dieselbe der Wahrheit noch etwas näher kommt. Es gehören nämlich immer noch eine Anzahl Fasern des dritten Nerven zur Armanschwellung, und ebenso Fasern vom sechsten Nerven zur Lendenanschwellung.

Daher sagen wir:

Armanschwellung	4000
Brustmark	1500
Lendenanschwellung	4500
	10000 Fasern (auf einer Seite).

Mit diesen Zahlen construiren wir die weisse Substanz der einen Rückenmarkshälfte und legen die idealen Durchschnitte durch dieselbe:

1) am Uebergang in die Medulla oblongata,
2) im zweiten Nerven durch die Mitte der Armanschwellung,
3) unter dem vierten Nerven durch die obere Hälfte des Brustmarks,
4) unter dem sechsten Nerven durch den oberen Theil der Lendenanschwellung,
5) unter dem neunten Nerven durch das untere Ende der Lendenanschwellung.

Mit diesen idealen Durchschnitten werde ich dann vergleichen die wirklichen an der gleichen Stelle gelegten Durchschnitte, und den Zahlen, welche ich in den ersteren annehme, werde ich gegenüberstellen die Zahlen, die in den letzteren durch Zählung wirklich bestimmt worden sind.

Schnitt 1.

In der einen Hälfte von 1) müssen wir antreffen:	In 1' sind wirklich gefunden:
lange Bahnen: je 2 zu sämmtlichen in das Mark eintretenden Wurzelfasern also 10000 · 2 =	20000
Latus	20000

Transport 20000

mittlere Bahnen: keine, denn diese reichen nicht bis in diese Gegend;

kurze Bahnen: von der oberen Hälfte der Armanschwellung also von $\frac{4000}{2} = 2000$ Wurzelfasern reichen die aufsteigenden Bahnen in denselben also $2000 \cdot 4$ = 8000

In einer Hälfte 28000

macht in beiden Hälften 56000, gezählt 56674.

Schnitt 2.

L. B. enthält derselbe von sämmtlichen unterhalb, also unter der Mitte der Armanschwellung eintretenden Wurzelfasern also von $10000 - 2000 = 8000$ je 2 = 16000

M. B. a) die absteigenden Fasern aus der oberen Hälfte der Armanschwellung $2000 \cdot 1$ = 2000

b) aufsteigende Fasern, welche die obere Hälfte der Armanschwellung erreichen. Das sind

1) von der unteren Hälfte des Brustmarks $\frac{1500}{2} \cdot 1$ = 750

2) von der oberen Hälfte der Lendenanschwellung $\frac{4500}{2} \cdot 1$ = 2250

K. B. die sämmtlichen kurzen Bahnen der Armanschwellung, denn weil in der Mitte gelegen, trifft der Schnitt sie alle (aber natürlich nur von jeder Wurzelfaser 4) also $4000 \cdot 4$ = 16000

(s. Satz 6 Bem. am Ende) In einer Hälfte 37000

In beiden Hälften 74000, gezählt 71699.

Schnitt 3.

L. B. von sämmtlichen unterhalb 3) unter der Mitte des Brustmarks eintretenden Wurzelfasern d. i.
untere Hälfte des Brustmarks
$\frac{1500}{2} \cdot 2 = 1500$
Lendenmark $4500 \cdot 2 = 9000 = 10500$

M. B. die absteigendenden Fasern der Armanschwellung $4000 \cdot 1 = 4000$
die aufsteigenden Fasern der unteren Hälfte des Brustmarks $750 \cdot 1 = 750$
die aufsteigenden Fasern der Lendenanschwellung $= 4500 = 9250$

K. B. die kurzen Bahnen der oberen Hälfte des Brustmarks $750 \cdot 4 = 3000$
(wahrscheinlich zu hoch)

In einer Hälfte 22750
In beiden Hälften 45500, gezählt 41825.

Schnitt 4.

L. B. von d. Lendenanschwellung $4500 \cdot 2 = 9000$

M. B. die absteigenden Fasern der Armanschwellung $4000 \cdot 1 = 4000$
die absteigenden Fasern der oberen Hälfte des Brustmarks $750 \cdot 1 = 750$
die aufsteigenden Fasern der Lendenanschwellung $4500 \cdot 1 = 4500$

K. B. die absteigenden Verbindungen der unteren Hälfte d. Brustmarks $750 \cdot 4 = 3000$
die aufsteigenden kurzen Bahnen der

Latus 21250

Transport 21250

oberen Hälfte der Lendenanschwellung $\frac{4500}{2} \cdot 4$ = 9000

In einer Hälfte 30250

In beiden Hälften 60500, gezählt 61058.

Schnitt 5.

L. B. keine mehr } denn sie reichen nicht
M. B. keine mehr } unter diesen Schnitt;
K. B. die absteigenden Verbindungen der unteren Hälfte der Lendenanschwellung

$\frac{4500}{2} \cdot 4$ = 9000

In einer Hälfte 9000

In beiden Hälften 18000, gezählt 16313.

Recapituliren wir noch einmal die Zahlen:

Schnitt	1	Hypothese	56000	Zählung	56674
»	2	»	74000	»	74699
»	3	»	45500	»	41825
»	4	»	60500	»	61058
»	5	»	18000	»	16313

Die Differenzen zwischen Hypothese und Zählung sind einzig bedeutend in Schnitt 3 und 5. Da können dieselben aber, wie ich glaube, befriedigend erklärt werden durch die Ungenauigkeit der hier gemachten Rechnung. Das Brustmark ist sehr lang gestreckt, und es ist daher nicht ganz berechtigt, die kurzen Bahnen der ganzen Hälfte für einen Schnitt in Rechnung zu setzen. Dieselben reichen nicht alle so weit. Dasselbe gilt für das untere Ende des Marks in Schnitt 5.

Im Uebrigen ist die Hypothese so sehr durch die Zählung bestätigt, oder vielmehr, um mich dem Gang der Dinge entsprechender auszudrücken, die Hypothese erklärt so genau die sonst so räthselhaften Zahlen, dass wohl kein Zweifel übrig bleiben wird, dass sie wirklich das Gesetz richtig ausspricht.

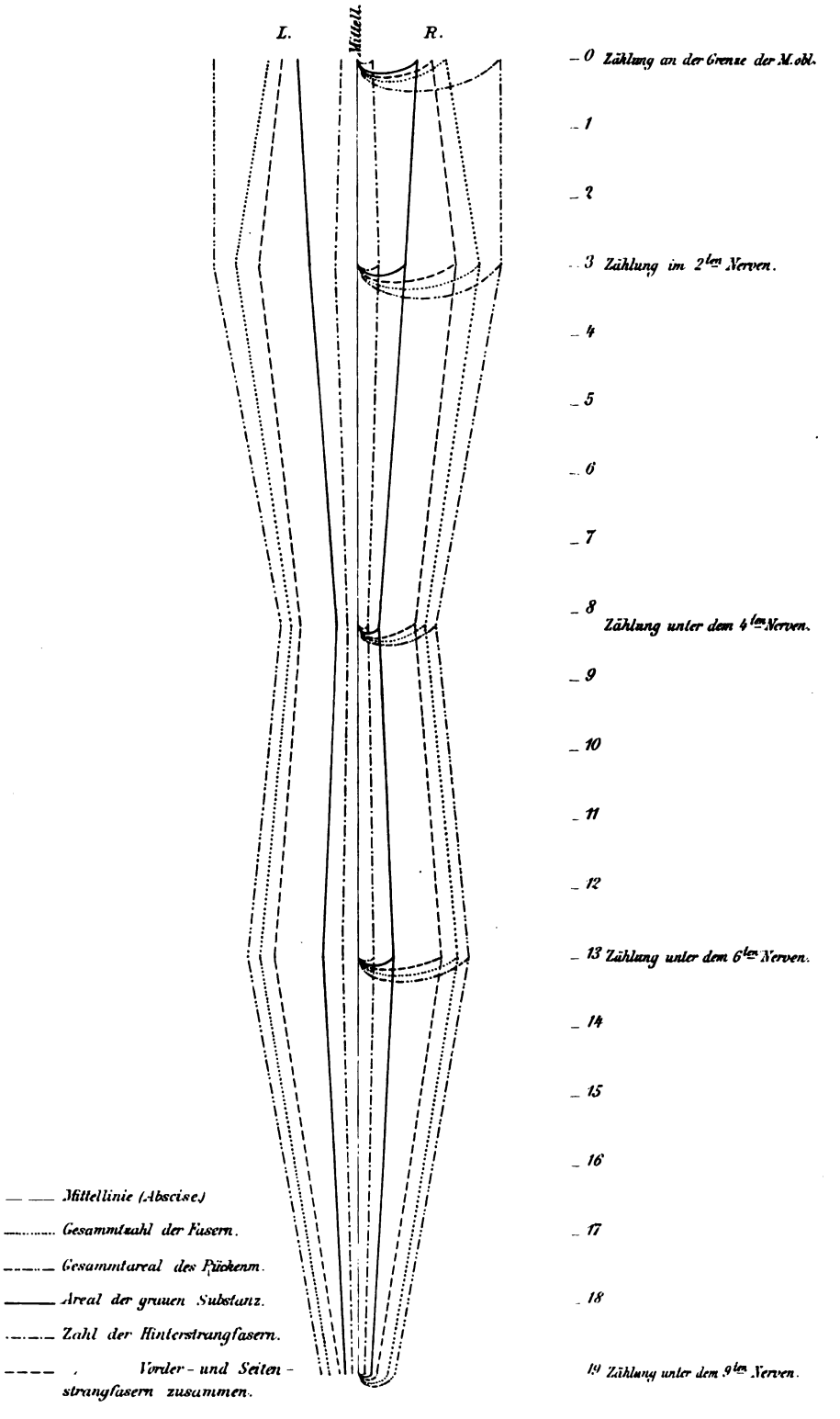
Dieses Gesetz, welches die Zahlenbeziehungen zwischen den

Fasern der peripheren Nerven und denen des Rückenmarks regulirt, ist ein wichtiges Glied in der Mechanik des Nervensystems. Aber es ist noch nicht Alles.

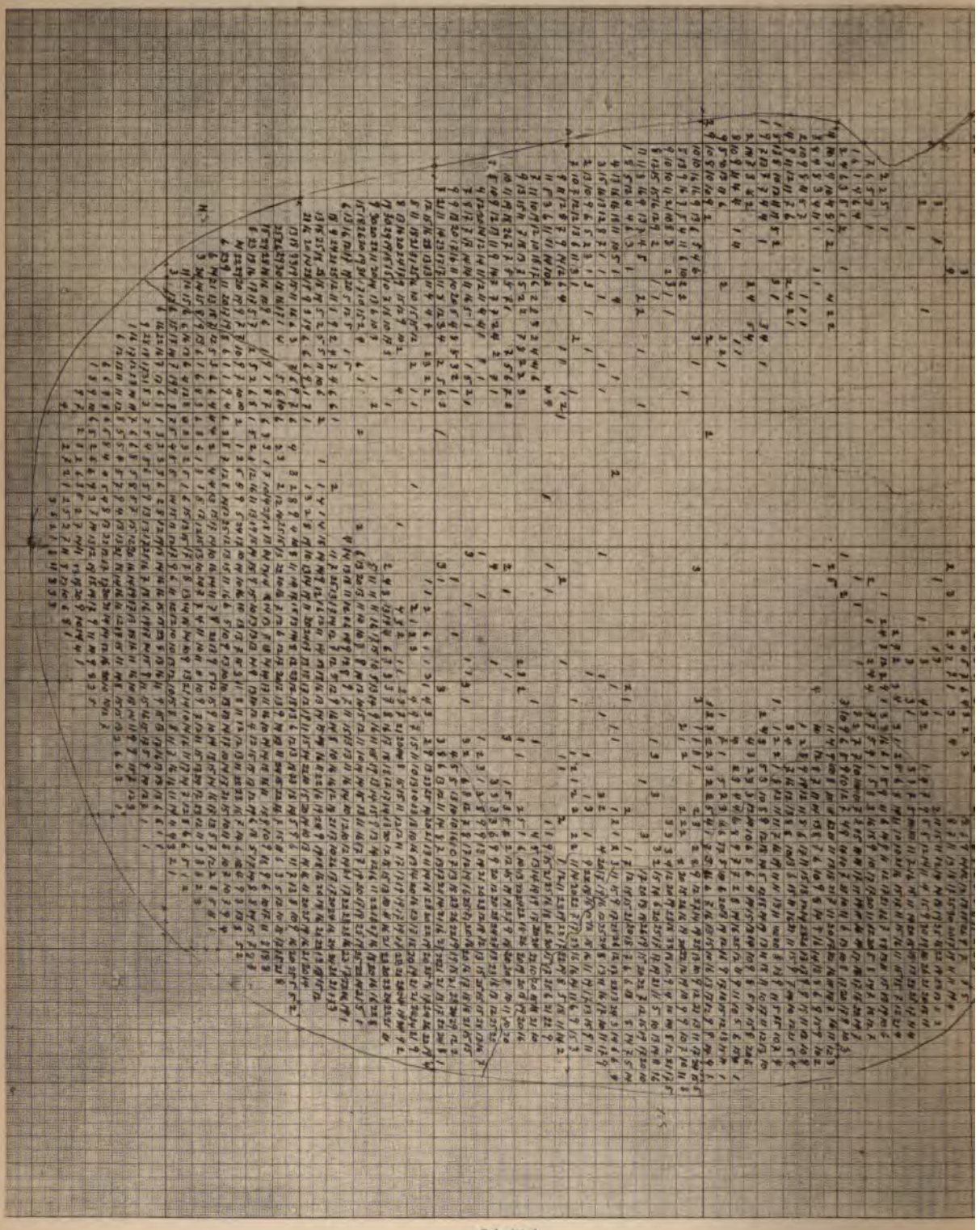
Es sagt nichts aus über die Art, wie die Verbindung zwischen beiden Arten von Fasern wirklich hergestellt wird, es schweigt auch über die Zusammenordnung der Fasern der weissen Substanz zu einzelnen genetisch oder functionell ausgezeichneten Systemen, wie z. B. die Pyramidenbahnen.

Verzeichniss der Tafeln.

Tafel 1. Schema des Rückenmarks auf Grund der Zahlen, vgl. p. 767.
» 2. Zählkarte von Schnitt 1, Uebergang zur Medulla oblongata.
» 3. » » » 2, Armanschwellung II. Nerv.
(Tafel 3 ist in kleinerem Maassstab als Tafel 1, 3, 4 und 5.)
» 4. Zählkarte von Schnitt 3, Brustmark IV. Nerv.
» 5. » » » 4, Lendenanschwellung VI. Nerv.
» 6. » » » 5, unter dem IX. Nerv.
(Beigegeben ist auf Tafel 6 Zählung von Schnitt 6 unter dem X. Nerv.
» 7. Photographie von Schnitt 1 und 2.
» 8. » » » 3 » 4.
» 9. » » » 5 » 6. Schnitt 6 unter dem X. Nerven nicht gezählt.
» 10. Photographie einer Stelle aus den Vordersträngen von Schnitt 2, Apochrom. 4. Proj. der cr.

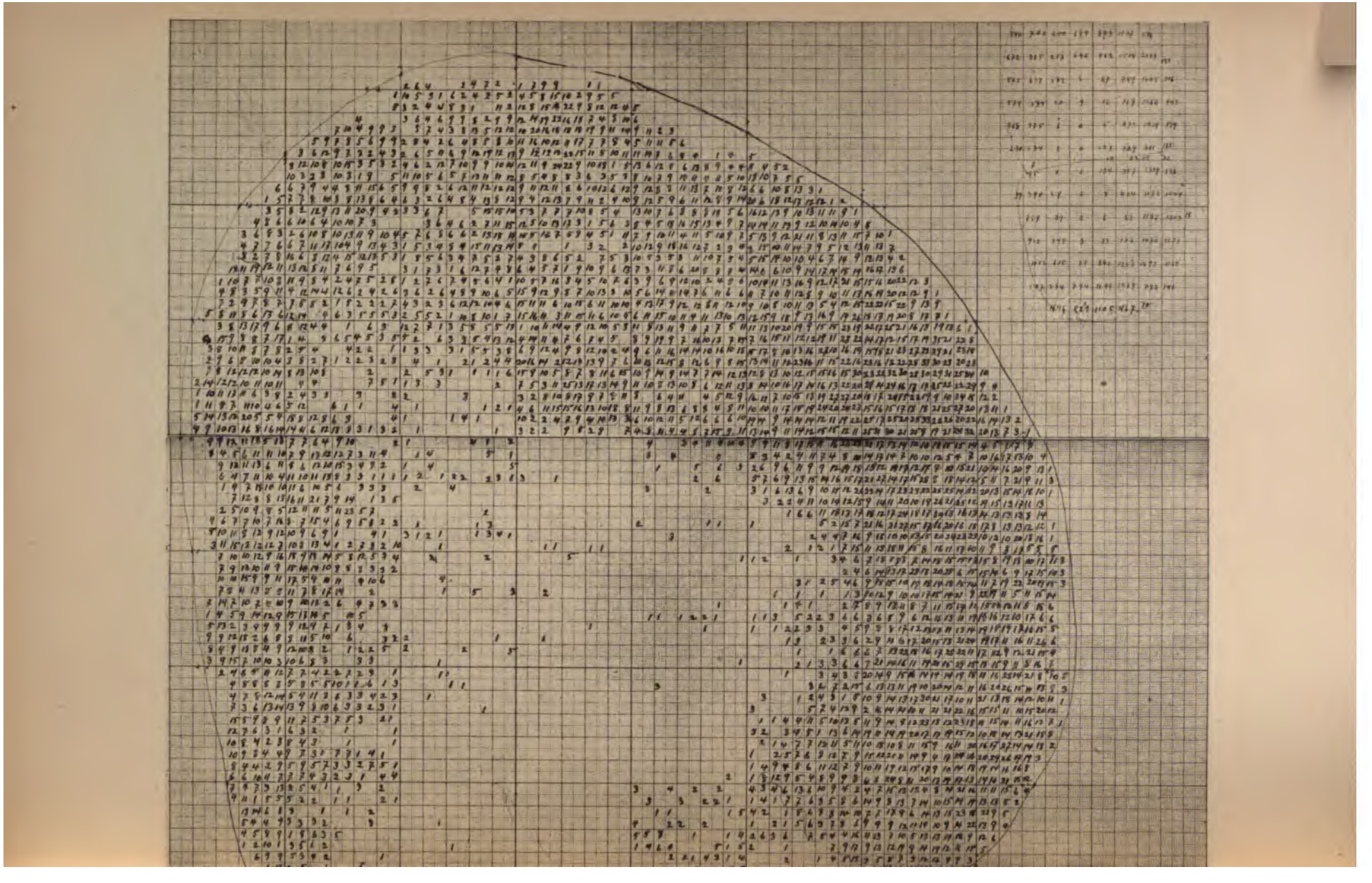


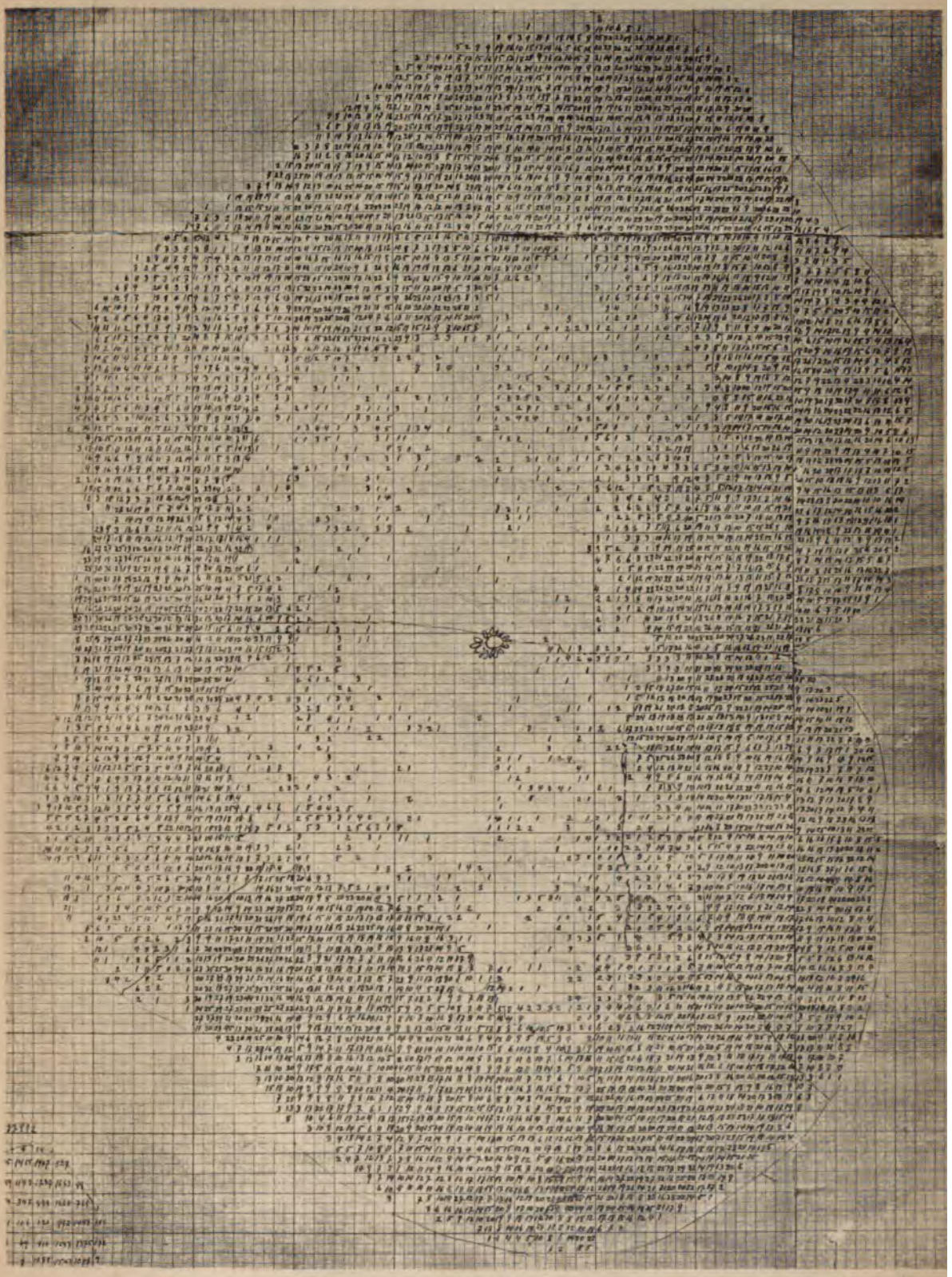
Lith. Anst. v. F. A. Finke, Leipzig.



Schnitt 1.

LICHTDRUCK V. HÖMKLER & JOHAS, DRESDEN.



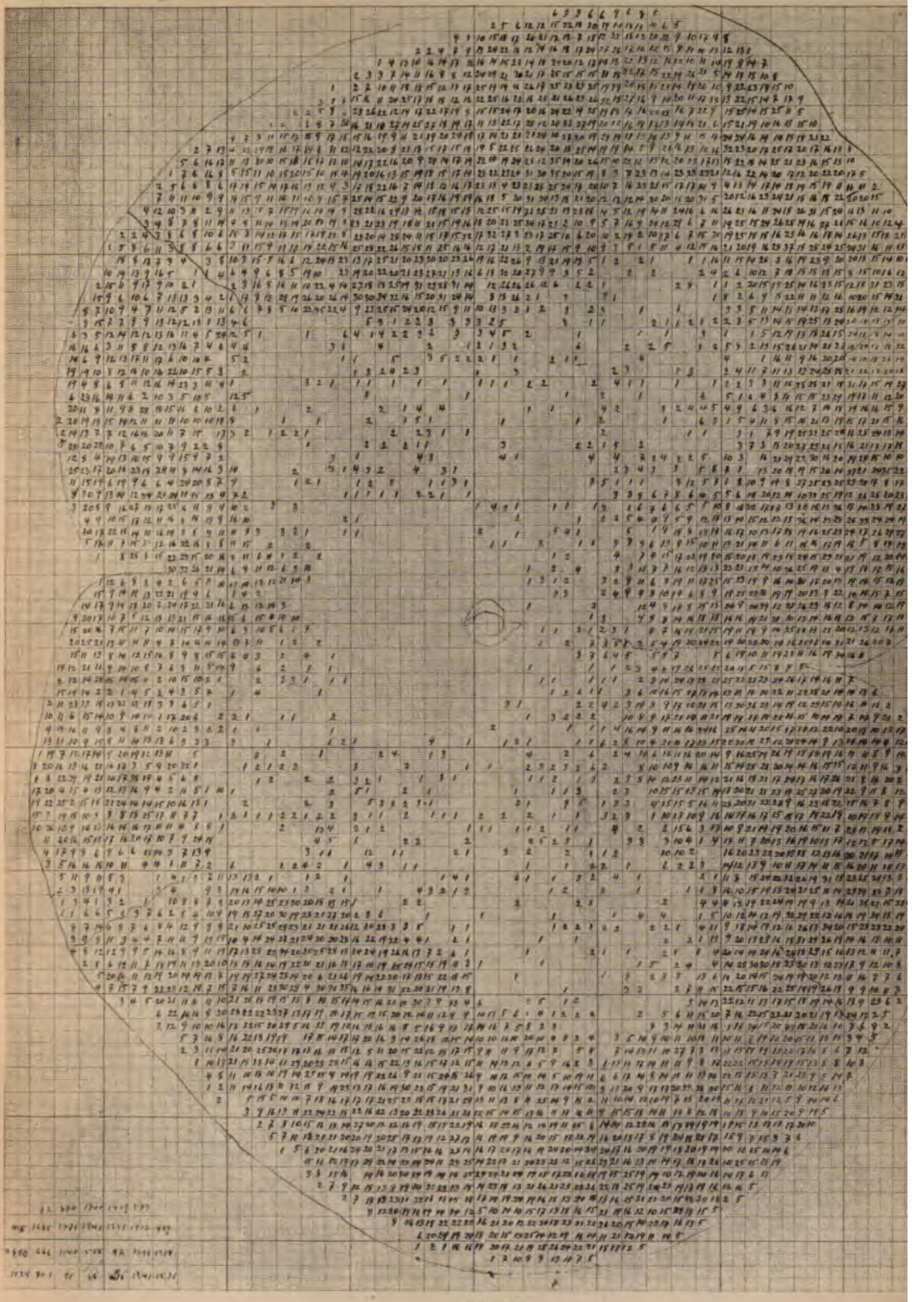


Schnitt 2.

LICHTDRUCK V. RÖHNLER & JONAS, DRESDEN.

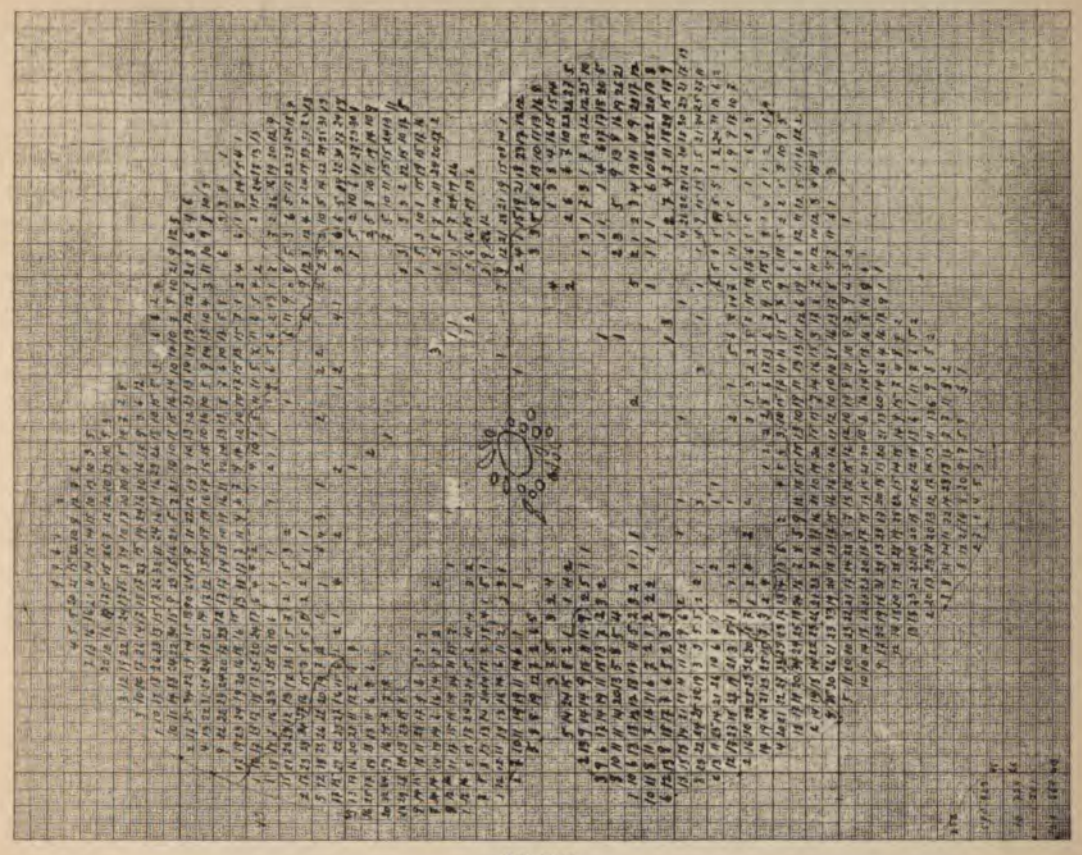
Schnitt 3.

LICHTDRUCK V. HÖHNLEIN & JONAS, DRESDEN.

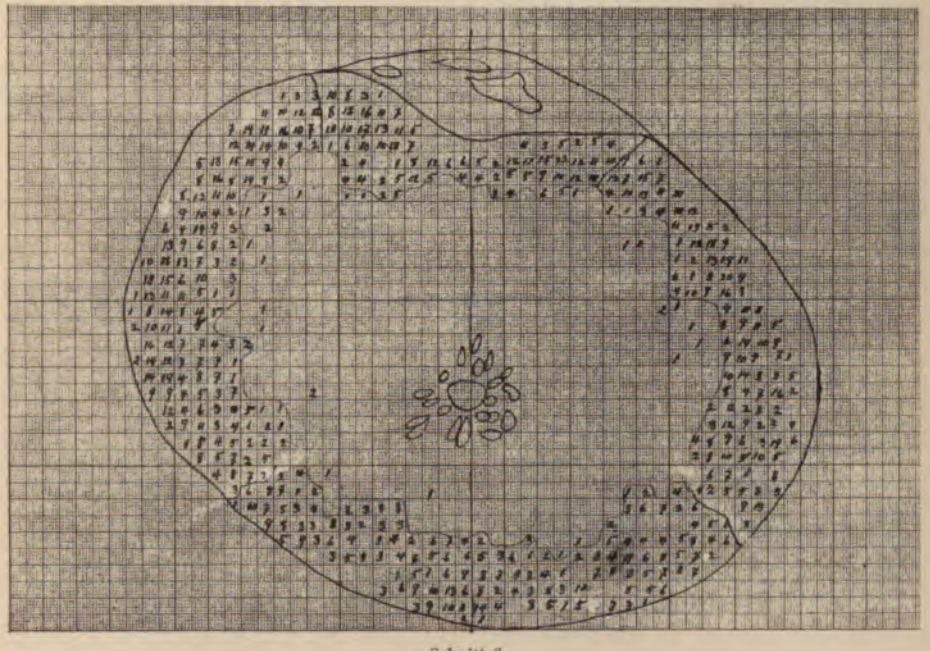


Schnitt 4.

KONTORDRUCK V. GÖHLER & JONAS, DRESDEN.

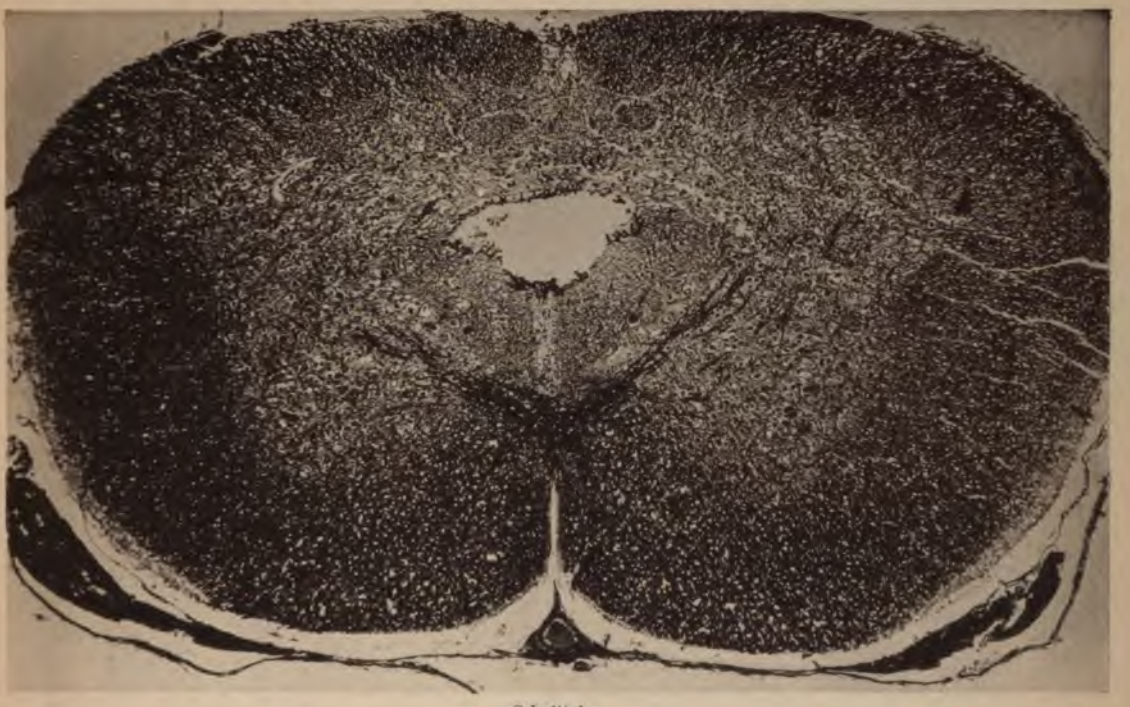


Schnitt 5.

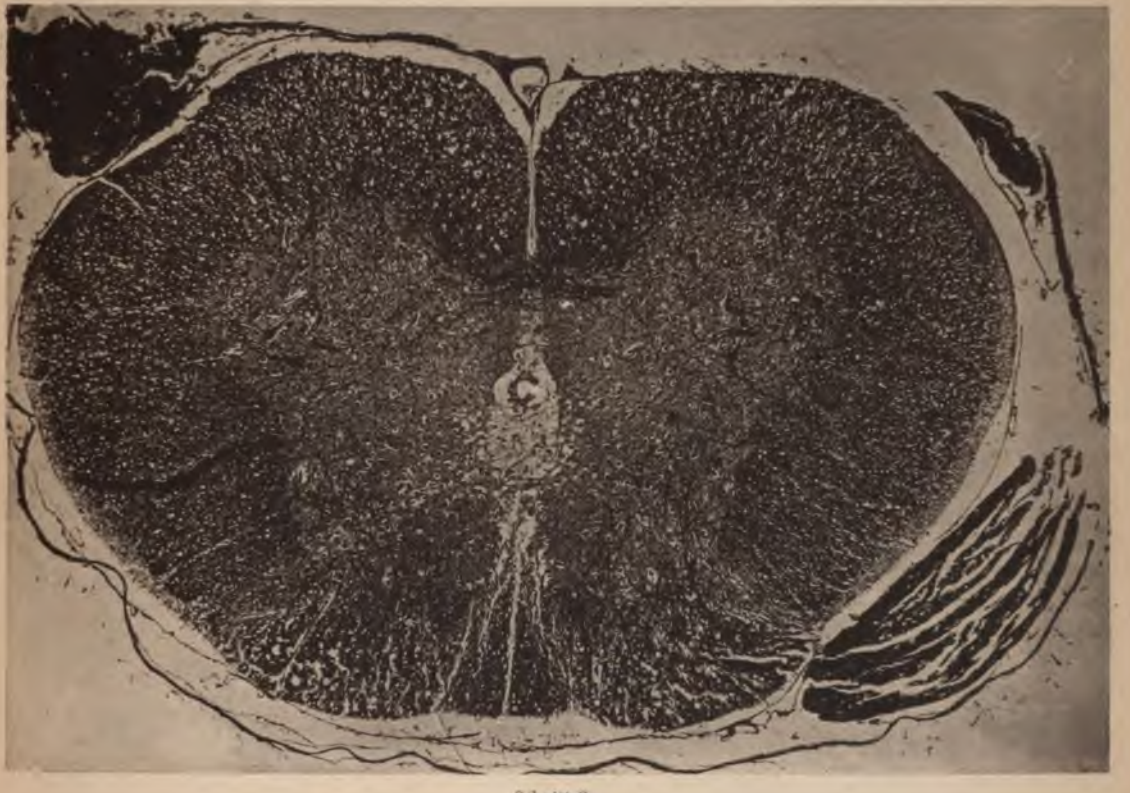


Schnitt 6.

LICHTDRUCK V. BÖHMLER & JOHAE, DRESDEN.



Schnitt 1.



Schnitt 2.

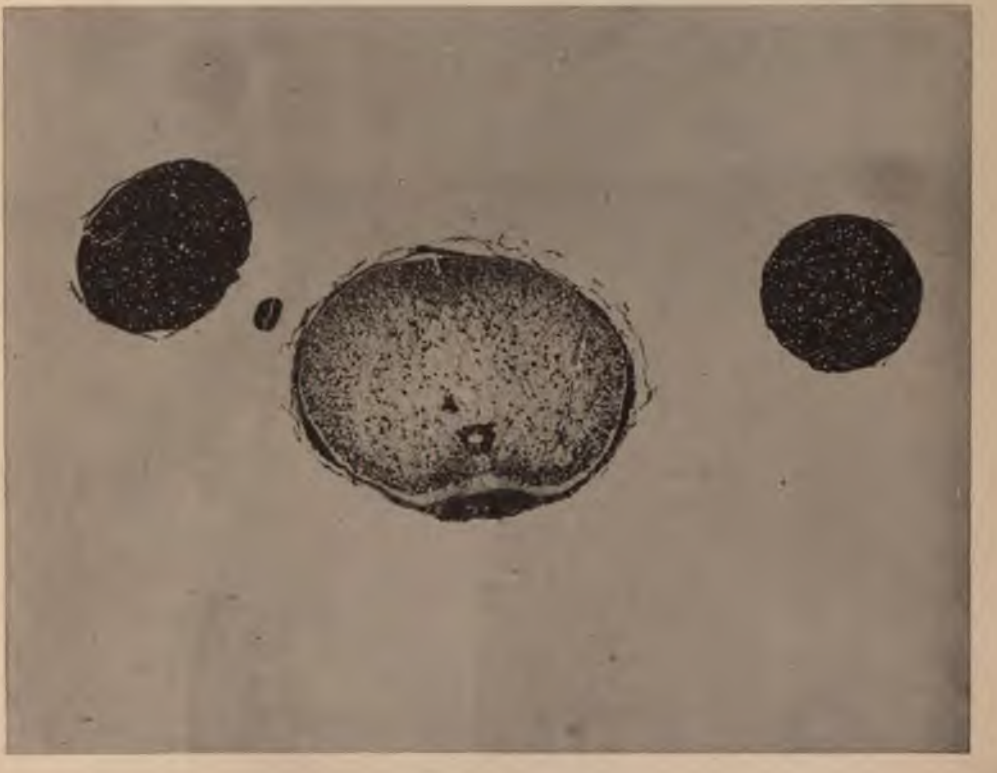
LICHTDRUCK V. RÖHNLER & JONAS, DRESDEN.

Schnitt 4.

Schnitt 3.

LICHTDRUCK V. HÖHNLEIN & JONAS, DRESDEN.

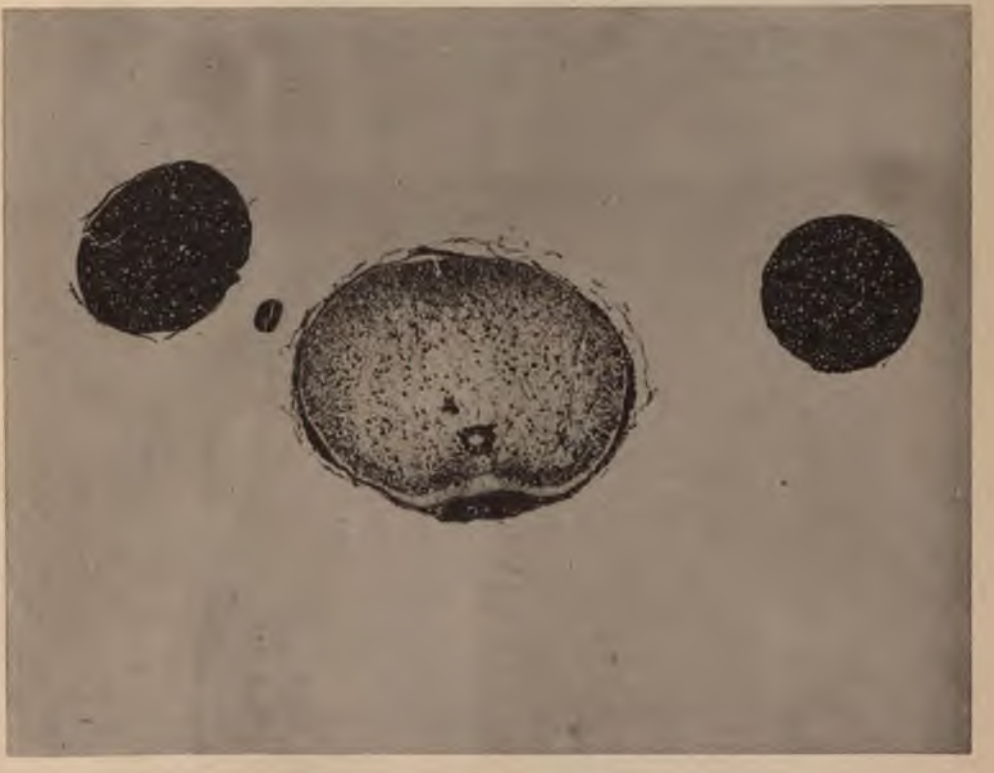
Schnitt 5.



Schnitt 6.

LICHTDRUCK V. GRÖBLER & JOHN, DRESDEN.

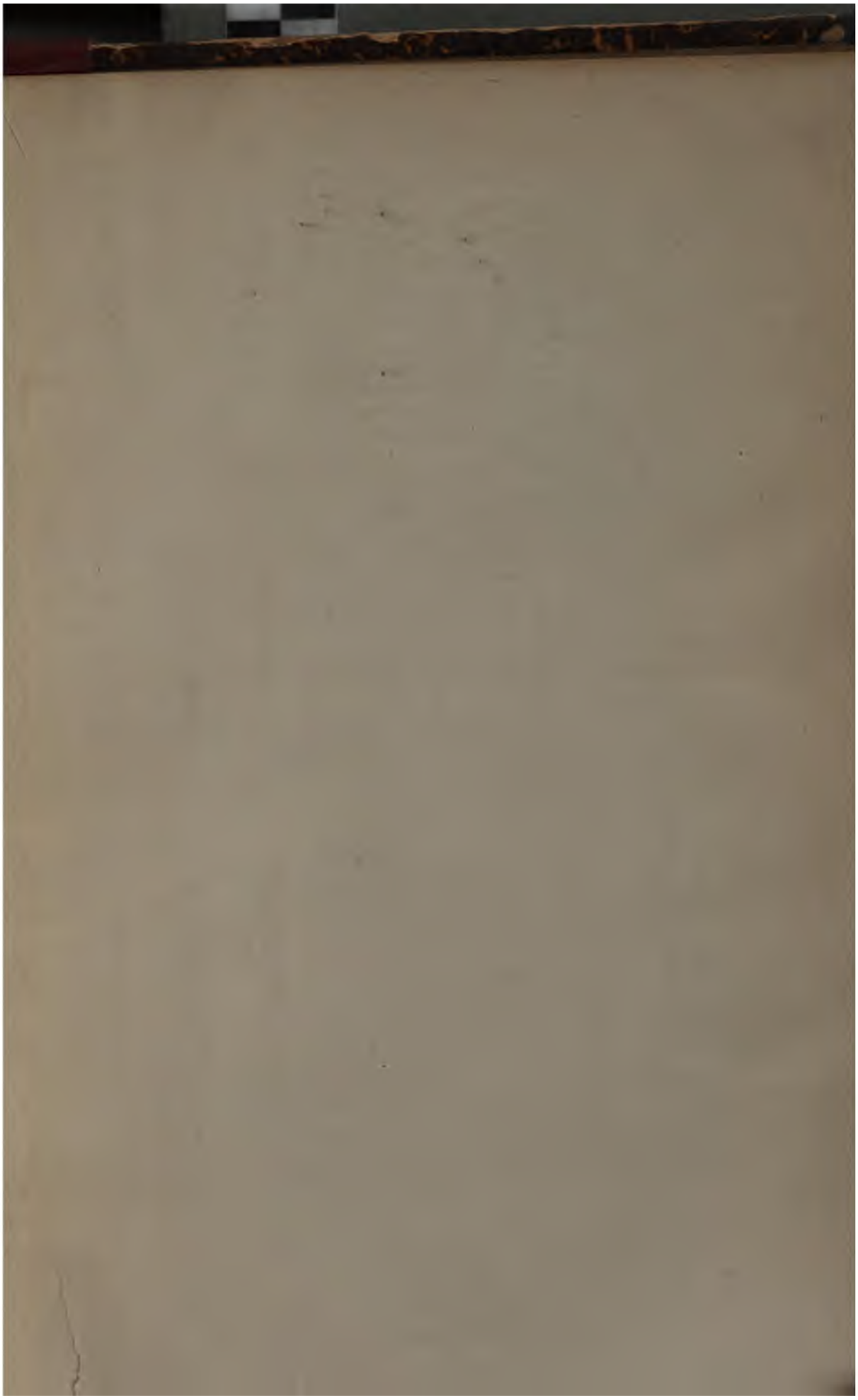
Schnitt 5.

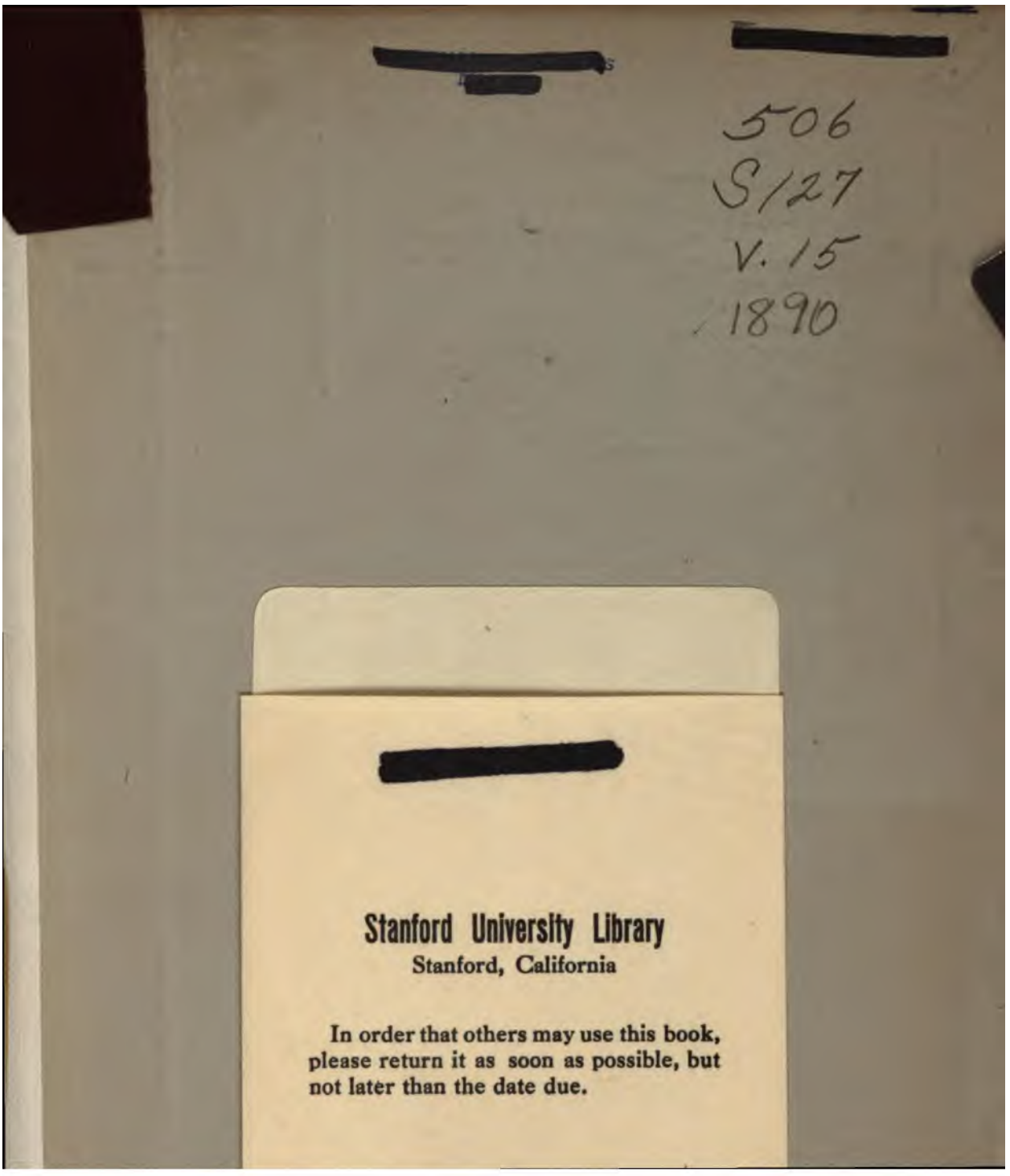


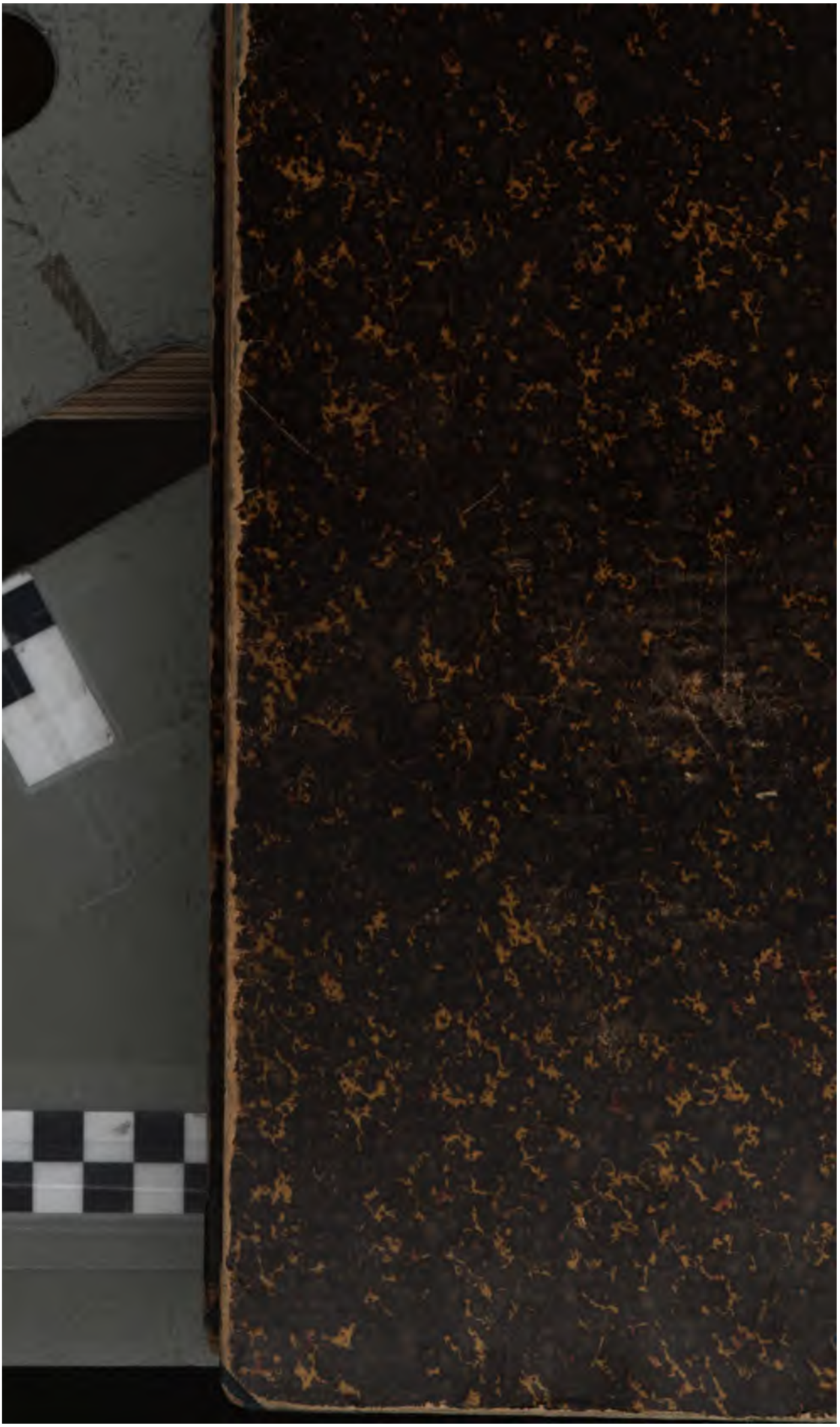
Schnitt 6.

Probe-Stelle aus Schnitt 2. Starke Vergrösserung Apochr. 4.

LICHTDRUCK V. RÖMMLER & JONAS, DRESDEN.




506
S127
V. 15
1890

Stanford University Library
Stanford, California

In order that others may use this book, please return it as soon as possible, but not later than the date due.